

DISEÑO DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PARA LA FLOTA DE CAMIONES CATERPILLAR 777G DE CERRO MATOSO, UTILIZANDO LA METODOLOGÍA MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM).

Eduardo Oviedo Serrano & Yovan Sepúlveda Pimienta.
Mayo del 2017

Universidad del Norte
Departamento de Ingeniería Industrial
Maestría en Ingeniería Administrativa

Dedicatoria

Dedicamos este trabajo a Dios, a nuestras familias y a todas las personas involucradas en el desarrollo de este proyecto.

Abstract

The aim of this document is to design a maintenance program based on a RCM analysis with the purpose of enhancing the performance of Cerro Matoso 777G mine trucks. It starts showing the factors that led us to select RCM as a tool to improve the reliability and availability of these equipment's (such as the decrease of the ore reserves, the irregular distribution of the mine ore, the fall of the nickel prices since 2011 to 2016, the demerger of South32 by BHP Billiton, and the new guidelines of the organization). Initially, the interaction between the organization (considering the guidelines and management tools), the company business units involved into the mine process and the stakeholders will be described briefly in the first chapters.

Maintenance methodologies (including Reliability Centered Maintenance, Condition Based Maintenance, Time Based Maintenance, Total Productive Maintenance and Business Based Maintenance) will be exposed. Although only RCM will be deepened. In addition, some key performance indicators will be explained and proposed to be used in the maintenance program (such as mean time between failures, mean time between shutdowns, mean time to repair and availability).

The methodology that were used to determine the maintenance plan, started explaining the operative context (mainly work and environmental conditions), also the truck itself was explained (by describing their principal systems functions and what they do). A failure modes and effects analysis will be done (including the use of the decision diagram). It will help us to determine the component stocktaking and the preventive actions to take into account in the maintenance program.

On the other hand, a Maintenance Plan will be proposed, with maintenance activities (including cadence, specialty, activity to be accomplished, kind of activity and duration time). In addition, implementation phases will be exposed (it contains schedule program, kind of maintenances, regular tasks, performance meetings, list of component stocktaking, maintenance routines and protocols, and checklist).

Finally, the conclusions and recommendations about this text will be explained, with the intention of informing the reader, the achievements and the knowledge acquired during the process. Several annexes and a glossary are left at the end with the objective of having the necessary information to understand this document.

Tabla de Contenido

Tabla de Contenido	5
Capítulo 1	13
Introducción	13
Capítulo 2.....	17
Problema de investigación	17
2.1. Planteamiento del problema.....	17
2.2. Justificación de la investigación	19
2.3. Alcance	21
2.4. Limitaciones.....	22
Capítulo 3.....	23
Objetivos del Proyecto	23
3.1. Objetivo general.....	23
3.2. Objetivos específicos	23
Capítulo 4.....	24
Marco de referencia	24
4.1. Marco conceptual.....	24
4.2. Marco Teórico.....	28
4.2.1. Metodología del RCM	30
4.2.1.1. Levantamiento de la información	32
4.2.1.2. Definición del Contexto Operacional	32
4.2.1.3. Análisis de Modos y Efectos de Falla.....	33
4.2.1.4. Análisis de Decisión	35
4.2.1.5. Diagrama de Decisión del RCM.....	37
4.2.1.6. Uso del Diagrama de Decisión del RCM.....	38
4.2.2. Tipos de Mantenimiento	42
4.2.3. Métricas de desempeño.....	42
4.2. Análisis bibliográfico.....	45
4.3. Conclusión	46
Capítulo 5.....	48
Metodología	48
5.1. Diagnóstico del plan de mantenimiento actual	48
5.1.1. PM o Rutinas de Mantenimiento actuales	48
5.2.1. Protocolos de mantenimiento.....	50
5.2.2. Formatos de mantenimiento.....	51
5.2.3. Administración de la información	52
5.2.4. Control y monitoreo.....	52
5.2.5. Resultados del diagnostico.....	53
5.3. Recolección de datos de los equipos.....	55
5.3.1. Manuales del fabricante	56
5.3.2. Conformación del grupo interdisciplinario	56
Capítulo 6.....	58
Diseño del plan de mantenimiento.....	58

6.1.	Contexto operacional	59
6.1.1.	Estructura organizacional y estrategias de gestión	59
6.1.2.	Descripción de la unidad Mantenimiento Mina.....	62
6.1.3.	Descripción del entorno operativo	65
6.1.4.	Identificación de los camiones CAT 777G.....	67
6.2.	Separación de los equipos en sistemas y componentes	67
6.2.1.	Sistema motriz	68
6.2.2.	Sistema de tren de potencia.....	69
6.2.3.	Sistema de freno.....	70
6.2.4.	Sistema hidráulico.....	71
6.2.5.	Sistema de dirección	71
6.2.6.	Sistema estructural	72
6.2.7.	Sistema eléctrico y electrónico	73
6.3.	Análisis de Modos y Efectos de Falla.....	73
6.3.1.	Modos de Falla del Sistema Motriz	74
6.3.2.	Análisis de Modos de Falla y de Decisión del sistema Motriz	77
6.3.3.	Resultados del análisis AMEF del sistema motriz.....	88
6.3.4.	Resultados del análisis AMEF del sistema de tren de potencia.....	90
6.3.5.	Resultados del análisis AMEF del sistema de freno	90
6.3.6.	Resultados del análisis AMEF del sistema hidráulico	90
6.3.7.	Resultados del análisis AMEF del sistema de dirección	90
6.3.8.	Resultados del análisis AMEF del sistema estructural	90
6.3.9.	Resultados del análisis AMEF del sistema eléctrico y electrónico.....	90
6.4.	Listado de tareas	90
6.4.1.	Listado de tareas no periódicas	91
6.4.2.	Listado de tareas periódicas	92
6.5.	Determinación de las rutinas de mantenimiento	98
6.6.	Determinación del inventario de repuestos.....	101
6.7.	Estructuración del PM.....	102
6.8.	Tiempos de duración de las etapas del PM.....	103
6.9.	Control y seguimiento del plan diseñado.....	106
6.9.1.	Monitoreo basado en condición	106
6.9.2.	Formato unificado de mantenimiento	107
6.9.3.	Protocolo de mantenimiento	111
6.9.4.	Métricas de desempeño	113
6.9.5.	Reuniones de desempeño	115
Capítulo 7	119
Propuesta de implementación	119
7.1.	Propuesta de implementación	120
7.2.	Fase de Apertura	121
7.2.1.	Determinación de las partes interesadas	121
7.2.2.	Registro del proyecto	122
7.3.	Fase de Planeación.....	123
7.3.1.	Diseño del plan de trabajo.....	123

7.3.2.	Correcciones del plan de trabajo	131
7.4.	Fase de ejecución	133
7.5.	Fase de monitoreo y control del proyecto	143
7.6.	Fase de Culminación	144
7.7.	Cronograma propuesto	144
	Conclusiones y recomendaciones	146
	Referencias bibliográficas	149
	Bibliografía	150
	Anexos	152

Lista de tablas

Tabla 1 - Rutinas de Mantenimiento actual	49
Tabla 2 - Actividades de mantenimiento fuera de las rutinas	49
Tabla 3 - Carencias y debilidades del plan de mantenimiento actual	55
Tabla 4 - Falla funcional A del sistema motriz	75
Tabla 5 - Falla funcional B del sistema motriz	76
Tabla 6 - Nomenclatura del diagrama de decisión.....	79
Tabla 7 - Efecto y consecuencia del modo de falla 1 de la falla funcional A.....	80
Tabla 8 - Identificación de modos de falla en hoja de decisión.....	83
Tabla 9 - Ruta de decisión en hoja de decisión A.....	85
Tabla 10 - Efecto y consecuencia del modo de falla 1 de la falla funcional B.....	85
Tabla 11 - Ruta de decisión en hoja de decisión B	88
Tabla 12 - Funciones del camión	89
Tabla 13 - Fallas funcionales de la función principal del sistema motriz.....	89
Tabla 14 - Tareas no periódicas del sistema motriz.....	92
Tabla 15 - Tareas periódicas del sistema motriz y estructural.....	93
Tabla 16 - Tareas periódicas del sistema eléctrico y electrónico.....	95
Tabla 17 - Tareas periódicas del sistema motriz.....	95
Tabla 18 - Tareas periódicas del sistema de freno	95
Tabla 19 - Tareas periódicas del sistema hidráulico	96
Tabla 20 - Tareas periódicas del sistema de tren de potencia.....	97
Tabla 21 - Tareas periódicas del sistema de dirección	98
Tabla 22 - Tareas periódicas del sistema estructural	98
Tabla 23 - Tareas periódicas de mantenimiento asociadas a rutinas de mantenimiento ..	99
Tabla 24 - Listado de componentes del sistema motriz.....	101
Tabla 25 - Etapas del PM.....	103
Tabla 26 - Actividades de PM (Tiempo de rutinas).....	105
Tabla 27 - Duración del plan de implementación	120
Tabla 28 - Actividades de la etapa de apertura del proyecto	121
Tabla 29 - Información de registro de los interesados	122
Tabla 30 - Contenido del plan de gestión del alcance	124
Tabla 31- Contenido del plan de gestión del tiempo	125
Tabla 32 - Contenido del plan de gestión de los costos	126
Tabla 33 - Contenido del plan de gestión de la calidad	126
Tabla 34 – Contenido de la matriz de comunicación propuesta	127
Tabla 35 - Matriz RACI.....	129
Tabla 36 – Roles generales de los integrantes del equipo del proyecto.....	129
Tabla 37. Matriz de riesgos.....	130
Tabla 38 - Actividades de la etapa de Planeación del proyecto.....	132
Tabla 39 - Contenido de la etapa de socialización.....	134
Tabla 40 - Actividades del plan de capacitaciones	137
Tabla 41 - Actividades de la etapa de capacitación	138
Tabla 42 - Actividades de la etapa de evaluación.....	139

Tabla 43 - Actividades de la etapa de Re-entrenamientos	139
Tabla 44 - Actividades de la etapa de protocolos de mantenimiento	141
Tabla 45 - Actividades de la etapa de formato unificado	142
Tabla 46 - Actividades de la etapa de rutinas de PM.....	143
Tabla 47 - Actividades de la etapa de rutinas de PM.....	143
Tabla 48 - Actividades de la fase de culminación	144

Lista de figuras

Figura 1. Disponibilidad Plan vs. Real Camiones Caterpillar 777G	19
Figura 2. Metodología del RCM.....	31
Figura 3. Diagrama de Decisión (Resumido)	37
Figura 4. Formato de mantenimiento tradicional.....	51
Figura 5. Gráfica de disponibilidad de abril de 2017.....	53
Figura 6. Estructura organizacional	59
Figura 7. Flujo de los recursos de las unidades de Cerro Matoso.....	60
Figura 8. Estrategia de gestión.....	62
Figura 9. Flujo del proceso de producción de Cerro Matoso S.A.....	65
Figura 10. Concentración de níquel de un origen cualquiera	66
Figura 11. Taxonomía del camión CAT 777G	68
Figura 12. Subconjuntos del sistema motriz	68
Figura 13. Subconjuntos del sistema de tren de potencia	69
Figura 14. Sistema de frenos.....	70
Figura 15. Sistema hidráulico	71
Figura 16. Sistema de dirección.....	72
Figura 17. Sistema estructural.....	72
Figura 18. Sistema eléctrico y electrónico	73
Figura 19. Diagrama de decisión	77
Figura 20. Ruta de decisión del modo de falla 1 de la falla funcional A.....	81
Figura 21. Ruta de decisión del modo de falla 1 de la falla funcional B	85
Figura 22. Nomenclatura de las tareas a realizar	91
Figura 23. Estructuración del PM	102
Figura 24. Tiempos asociados a las rutinas de mantenimiento.....	105
Figura 25. Formato de PM (Página 1)	108
Figura 26. Formato de PM (Página 2)	109
Figura 27. Formato de PM (Página 3)	110
Figura 28. Protocolo de Mantenimiento Tren de Potencia	111
Figura 29. Referencia estado tapones magnéticos	112
Figura 30. Rendimiento del MTB según su rango.....	113
Figura 31. Elementos del programa de mantenimiento	115
Figura 32. Pareto de Falla General	116
Figura 33. Pareto de Falla por Sistema Afectado	116
Figura 34. Gráfica de disponibilidad propuesta.....	117
Figura 35. Acumulado FY17	118
Figura 36. Plan de trabajo	124
Figura 37. Organigrama propuesto para el equipo del Proyecto	128
Figura 38. Análisis de riesgos del proyecto	131
Figura 39. Etapas de la fase de ejecución	134
Figura 40. Diagrama de Gantt de la implementación 1/2	144
Figura 40. Diagrama de Gantt de la implementación 2/2	145

Lista de ecuaciones

Ecuación 1. Tiempo medio entre paradas (MTBS)	43
Ecuación 2. Tiempo medio entre fallas (MTBF)	44
Ecuación 3. Tiempo medio para reparar (MTTR)	44
Ecuación 4. Disponibilidad (D)	45

Lista de anexos

Anexo 1 - Modos y Efectos de Falla del Sistema Motriz	152
Anexo 2 - Modos y Efectos de Falla del Sistema de Potencia.....	156
Anexo 3 - Modos y Efectos de Falla del Sistema de Freno	167
Anexo 4 - Modos y Efectos de Falla del sistema hidráulico.....	171
Anexo 5 - Modos y Efectos de Falla del sistema de dirección	176
Anexo 6 - Modos y Efectos de falla del sistema estructural	180
Anexo 7 - Modos y Efectos de falla del sistema eléctrico y electrónico	183
Anexo 8 - Hoja de decisión del sistema motriz	188
Anexo 9 - Hoja de decisión del sistema de tren de potencia	191
Anexo 10 - Hoja de decisión del sistema de freno.....	196
Anexo 11 - Hoja de decisión del sistema hidráulico.....	197
Anexo 12 - Hoja de decisión del sistema de dirección	198
Anexo 13 - Hoja de decisión del sistema estructural	199
Anexo 14 - Hoja de decisión del sistema eléctrico y electrónico	200
Anexo 15 - Especificación de las tareas del sistema motriz	201
Anexo 16 - Especificación de las tareas del sistema de tren de potencia	204
Anexo 17 - Especificación de las tareas del sistema de freno	208
Anexo 18 - Especificación de las tareas del sistema hidráulico	209
Anexo 19 - Especificación de las tareas del sistema dirección.....	211
Anexo 20 - Especificación de las tareas del sistema estructural.....	212
Anexo 21 - Especificación de tareas del sistema eléctrico y electrónico	213
Anexo 22 - Tareas del plan de mantenimiento actual de CMSA.....	214
Anexo 23 - Rutinas de mantenimiento del sistema motriz	216
Anexo 24 - Plan de implementación	227

Capítulo 1

Introducción

Cerro Matoso S.A es una compañía minera localizada en Colombia en el departamento de Córdoba, que ha explotado níquel a cielo abierto por más de 30 años, generando ingresos anuales por aproximadamente 350 000 millones de dólares y cerca de 40 000 millones en regalías [1]. Sin embargo, la empresa ha visto disminuidas sus utilidades principalmente por la reducción en la producción, ocasionada entre otras cosas por baja concentración de níquel en los últimos años de minería, el aumento en el volumen de material movido y por la caída en los precios del mineral.

Debido a que los planes de movimiento de tierra se afectan directamente por la disponibilidad de los equipos de acarreo, es importante que éstos cumplan con las horas requeridas. Sin embargo, en el 2014, los equipos con los que la empresa contaba no poseían la capacidad necesaria para mover el mineral requerido, y de esta forma cumplir los planes de mediano y largo plazo, principalmente porque tenían muchas horas de operación (generando bajas disponibilidades y altos costos) y su capacidad era solamente de 50 toneladas.

Para mitigar el problema expuesto anteriormente, en 2014 se compraron 14 camiones modelo CAT 777G con capacidad de 100 toneladas, de ésta forma se buscaba aumentar el movimiento de mineral y cumplir con la producción planeada. No obstante, desde que los equipos iniciaron operación no han cumplido con la disponibilidad programada, principalmente porque su mantenimiento estaba basado en el plan de mantenimiento del fabricante.

Actualmente, el plan de mantenimiento de los camiones CAT 777G de Cerro Matoso S.A está basado en cambios de fluidos, lubricaciones, ajustes, revisiones, limpiezas y reemplazos de repuestos sin importar el estado de los sistemas y componentes intervenidos (Mantenimiento Basado en Tiempo). También carece de una base de datos donde se consigne la información recopilada en los análisis de monitoreo basado en condiciones, y en los formatos de Mantenimiento Preventivo (PM). Tampoco dispone protocolos que le indiquen a los mantenedores como realizar correctamente las intervenciones sobre el equipo. Por último, aunque se utilizan métricas de desempeño para medir la disponibilidad de los camiones, no se cuenta con indicadores que permitan estimar su confiabilidad.

Lo expuesto anteriormente ha tenido graves consecuencias en el rendimiento de la flota, y en los costos de la unidad de mantenimiento, ya que al hacerse cambios de fluidos y componentes sin importar su estado, se ha incurrido en “sobre-mantenimiento”, requiriendo un gran volumen de repuestos e insumos en bodega para cumplir con el plan establecido. Además, al no contar con protocolos de mantenimiento, en ocasiones se han realizado intervenciones erróneas, las cuales han generado fallas inesperadas en los camiones, ya que no existe un estándar que les indique a los mecánicos y electricistas sobre como intervenir la máquina.

Por otro lado, la poca importancia que se le ha dado a la administración de la información de mantenimiento, ha imposibilitado el análisis de los datos que se obtienen en cada PM y en los análisis de monitoreo basado en condiciones, impidiendo que se tomen acciones preventivas a tiempo, lo que conlleva a la aparición de fallas.

Para dar solución a los problemas explicados en los párrafos anteriores, en esta investigación se diseñó un programa de mantenimiento para la flota de camiones CAT 777G, que permite mejorar su disponibilidad y disminuir sus costos. De esta forma, la empresa puede incrementar sus utilidades y ganar sostenibilidad en los años futuros. Además, permite mejorar las prácticas de mantenimiento, ya que se generaron documentos técnicos que garantizan diagnósticos fiables, los cuales dan un mayor conocimiento de la flota por parte de los ingenieros y mantenedores.

El plan se desarrolló mediante un análisis de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), el cual permitió entender el funcionamiento del equipo. Se analizaron sus funciones, fallas principales, modos de falla, efectos y consecuencias.

La nueva propuesta de mantenimiento, se centra en los principales sistemas del equipo (eléctrico, potencia, hidráulico, frenos, dirección y motriz) teniendo en cuenta aspectos de salud, seguridad, ambiente y operación. Las actividades de limpieza, inspección, revisión, lubricación, cambios de fluidos, ajustes y reemplazos se basan en la condición de los componentes, mas no en el tiempo de operación que éstos tengan. También se determinó el stock de repuestos que deben permanecer en bodega, basándose el diagrama de decisión del RCM.

Se propuso un cronograma para de implementación del plan de diseñado, el cual contiene fechas de divulgación al personal y entrenamientos a los mantenedores. También propone nuevas métricas de desempeño, tales como el tiempo medio entre paradas (MTBS), tiempo medio entre fallas (MTBF) y el tiempo medio para reparar

(MTTR), las cuales permiten conocer la confiabilidad de los camiones, determinando cuales son las fallas más reiterativas de los sistemas y componentes afectados.

La propuesta también incluye un formato unificado para administrar la información de los PM y del monitoreo basado en condiciones, la cual se guardará en plantillas de Excel con el objetivo poder analizar la información recopilada, a fin de establecer tendencias de desgaste de componentes. Asimismo se creó un protocolo que servirá como guía para los mecánicos y electricistas cada vez que tengan que realizar una intervención preventiva.

Por último, el desarrollo de la propuesta permitió identificar fugas de capital, principalmente por cambios de componentes en buen estado y tareas e inspecciones rutinarias que no agregaban valor al mantenimiento de los equipos. De la misma forma, se detectó la importancia de disponer protocolos, formatos unificados y bases de datos para administrar las labores de mantención, ya que permiten ejecutar las actividades de forma estandarizada, recopilar, y guardar eficazmente la información de las intervenciones preventivas, la cual sirve de base para análisis de confiabilidad, con el propósito de tomar acciones que mejoren aún más el rendimiento de la flota.

Capítulo 2

Problema de investigación

2.1. Planteamiento del problema

En los últimos seis años, la empresa Cerro Matoso S.A ha tenido una reducción del 28% en su producción, ocasionada principalmente por el agotamiento de las reservas y por la baja concentración de níquel en los depósitos. Además, el precio del mineral pasó de once dólares la libra en 2011 a cuatro dólares en el 2016. Lo anterior impactó económicamente a la compañía, se hizo necesario implementar planes de optimización que redujeran los costos operativos del negocio para que cumplieran con la rentabilidad y la producción estimada.

Dentro de los planes de optimización, se concluyó que era necesario aumentar la flota de camiones, ya que debía moverse más volumen de mineral, debido a que la concentración de níquel era menor (en 2011 Cerro Matoso obtenía una tonelada de níquel por cada tres toneladas de mineral movido, y en el 2016 se obtenía una por cada cinco). En los análisis de estimación de flota, la empresa concluyó que debían adquirirse 14 camiones de 100 toneladas (CAT 777G comprados en el 2014) para cumplir con los planes de producción estimados.

Actualmente, los camiones CAT 777G de la empresa Cerro Matoso S.A disponen de un plan de mantenimiento según las recomendaciones de Caterpillar, el cual se basa en actividades periódicas donde se hacen limpiezas, cambios, revisiones, entre otras, sin importar la condición del sistema o componente intervenido, lo que deriva en altos costos para la unidad de mantenimiento. Además, se generan paradas inesperadas debido a

equivocaciones en las intervenciones, todo esto, producto de no contar con protocolos de intervención.

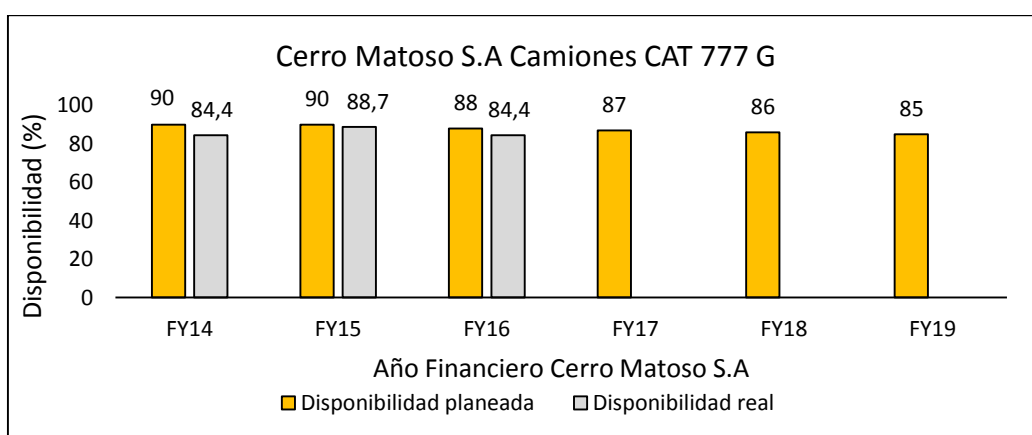
Por otro lado, no se tiene una base de datos, ni un formato unificado que permita analizar la información recolectada en las rutinas y en el monitoreo basado en condiciones, tales como análisis de vibraciones, análisis de aceite, radiografía y tintas penetrantes. Lo que impide tener trazabilidad sobre el desgaste de los componentes, así como de las condiciones en que ingresan y salen del mantenimiento.

|

2.2. Justificación de la investigación

La disponibilidad anual estimada para los equipos adquiridos en el 2014 nunca se ha logrado desde su puesta en marcha (Ver Figura 1), afectando el plan de movimiento de mineral y por ende la producción programada. Además, los costos de mantenimiento asociado han aumentado en los últimos años, debido a la alta recurrencia de fallas imprevistas, errores humanos y largos periodos de tiempo indisponible por falta de repuestos.

Figura 1. Disponibilidad Plan vs. Real Camiones Caterpillar 777G



Fuente propia basada en [1].

Los principales factores que afectan la disponibilidad y que elevan los costos de la flota de camiones CAT 777G son: el seguimiento de un plan de mantenimiento que se basa en actividades periódicas sin importar el estado de los componentes o sistemas intervenidos, la falta de protocolos, formatos unificados y bases de datos para administrar la información recopilada en los mantenimientos, y la carencia de indicadores que permitan conocer la confiabilidad de los equipos.

Lo expuesto anteriormente, hace necesario diseñar un plan de mantenimiento acorde a los requerimientos previamente mencionados, que garantice la disponibilidad y confiabilidad de los camiones 777G y a un costo adecuado. La metodología de mantenimiento RCM se basa en la función del equipo más que en el equipo en sí mismo. En otras palabras, el RCM basa las actividades de mantenimiento en garantizar las funciones de los sistemas. Por ejemplo, si un componente está en condiciones de cumplir su labor (indudablemente bajo estándares de seguridad, salud al operador, medio ambiente y operación) no es necesario reemplazarlo.

El RCM establece cuáles son los repuestos que deben permanecer en bodega y que garantizan, que el tiempo de parada asociado a reemplazo de componentes no se extienda demasiado, algo que impacta positivamente la disponibilidad de los equipos. También ayuda a diagnosticar mejor las fallas funcionales mediante el análisis de modos y efectos de falla (AMEF). Lo más importante, es que el RCM puede desarrollarse con el personal y los recursos de los que dispone Cerro Matoso S.A (tales como los manuales de fabricante, el Software SISCAT y con la experiencia de los mantenedores).

2.3.Alcance

La finalidad de este proyecto es diseñar un plan de mantenimiento basado en RCM, el cual contiene las tareas de mantenimiento preventivo de los camiones CAT 777G de Cerro Matoso, así como un inventario de repuestos, formato unificado, métricas de desempeño y protocolos de intervención.

Con este trabajo se busca estudiar los equipos mencionados anteriormente, planificar y programar rutinas periódicas de mantenimiento y determinar los componentes que se requieren. Lo anterior se hace con el propósito de reducir el tiempo asociado a intervenciones no planeadas de los camiones, y mejorar la producción de la compañía. Igualmente, se determinará la duración y la cantidad de actividades que cada rutina requiere.

2.4. Limitaciones

Una de las limitaciones más importantes que tuvo el proyecto fue la falta de registros históricos digitales de los equipos, ya que la información de los mantenimientos se guardaba en archivadores mediante formato físico y se limitaban a listas de chequeo (sin mostrar valores de presión, temperatura, desgaste, entre otros), por lo que para determinar las fallas funcionales más recurrentes, se dispuso de la información suministrada por el personal técnico de la empresa.

Otra limitación fue el tiempo, ya que no podía contarse con muchos técnicos y operadores simultáneamente, quienes podían aportar información valiosa a las reuniones. A pesar de que se conformó un grupo interdisciplinario de siete personas (dos ingenieros, un electricista, un operador y tres mecánicos), no fue posible realizar el RCM sobre todos los componentes de la máquina como lo exige la metodología.

Debido al tiempo y al poco personal con el que se contaba, el análisis de modos y efectos de falla se limitó a las funciones principales de los sistemas del equipo, por lo que la cantidad de tareas de mantenimiento es considerablemente menor que si se hubiera hecho el análisis para todas las funciones del camión.

Por último, debido a aspectos de confidencialidad de la empresa, no se pudieron plasmar en el proyecto muchas imágenes, formatos e información del proceso de mantenimiento de los camiones en Cerro Matoso.

Capítulo 3

Objetivos del Proyecto

3.1. Objetivo general

Diseñar un programa de mantenimiento utilizando la metodología Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), aplicada a la flota de camiones Caterpillar 777G de Cerro Matoso S.A, con el ánimo de reducir los costos de mantenimiento y garantizar la disponibilidad de los equipo en su entorno operacional actual.

3.2. Objetivos específicos

- Diagnosticar el plan de mantenimiento actual de Cerro Matoso identificando sus carencias y debilidades, para establecer una metodología de mantenimiento que se adapte a los requerimientos de la empresa.
- Parametrizar la operación y las condiciones de uso de los camiones CAT777G, utilizando la información técnica de la máquina y la experiencia del personal de Cerro Matoso S.A.
- Definir las tareas de mantenimiento y el inventario de repuestos mediante un análisis de modos y efectos de falla, utilizando el diagrama de decisión.
- Diseñar las rutinas y protocolos de mantenimiento de la flota de camiones CAT777G para estandarizar el programa de mantenimiento.
- Proponer un plan de implementación para el programa de mantenimiento diseñado, estableciendo etapas, actividades y tiempos de ejecución, con el propósito de que el plan pueda ser aplicado en el futuro, si la compañía lo considera pertinente.

Capítulo 4

Marco de referencia

El propósito de este capítulo, es definir y explicar los conceptos y metodologías que guardan relación con el tema del RCM. Igualmente, se plantearán algunos aspectos analizados por otros autores, detallando brevemente algunas discusiones que se han suscitado en el ámbito académico e industrial, a fin de comprender las decisiones tomadas para el desarrollo del proyecto en cuestión. También se propondrán indicadores que darán respaldo al plan de mantenimiento diseñado.

4.1. Marco conceptual

AMEF: El Análisis de Modos y Efectos de Falla es un proceso sistemático que tiene como objetivo reducir el riesgo de fallas de un proceso o sistema antes de que se materialicen.

Camión 777G: Es un camión de obras fabricado por Caterpillar y que tiene capacidad de cargar 100 toneladas.

Confiabilidad: Es la probabilidad o medida que indica que un componente, maquina o herramienta realice su función prevista sin presentar incidentes durante un periodo de tiempo y bajo condiciones específicas.

Contexto operacional: Son las características que definen el entorno de trabajo de un equipo, incluyendo factores ambientales, organizacionales y parámetros de funcionamiento.

Dispatch: Es un sistema que incluye hardware y software para monitorear en tiempo real una máquina. Muchos incluyen sistemas de posicionamiento del equipo por

GPS, monitoreo del estado del equipamiento, monitoreo del mantenimiento, gestión de mezclas y obtención de informes de producción.

Disponibilidad: Es la relación entre el tiempo que una máquina puede funcionar en la operación prevista (horas disponibles) y el total de horas en el período considerado (normalmente basándose en el calendario o en las horas programadas), expresado como un porcentaje. El cálculo de las horas disponibles no es un cálculo puro ya que el resultado es modificado por las horas de inactividad que están específicamente excluidas o limitadas por los términos del contrato.

Equipo: Término usado para hacer referencia a las máquinas o herramientas que deben ser mantenidas.

ERP: Es un sistema de planificación de recursos empresariales (en inglés Enterprise Resource Planning) y se encarga de manejar la producción, logística, distribución, inventario, envíos, facturas y contabilidad de la compañía de forma modular.

Grupo interdisciplinario: Es un grupo conformado por personas que tienen diferentes especialidades en la empresa y que trabajaron juntas para desarrollar el programa de mantenimiento basado en RCM.

Falla: No cumplimiento de alguna función del equipo.

Hoja de decisión: Es una herramienta que sirve para registrar el análisis AMEF durante las reuniones del grupo interdisciplinario.

Horas hombre: Es una medida para estimar el esfuerzo requerido para realizar una tarea, y su unidad equivale a una hora de trabajo ininterrumpido de un trabajador.

Horas máquina: Es una medida para estimar el tiempo requerido para realizar una determinada actividad sumando el tiempo que demoran todas sus tareas.

Métricas de desempeño: Indicador usado para describir la salida de cualquier proceso, son utilizadas para recolectar, analizar, interpretar y presentar datos cuantitativos. Las Métricas de Desempeño permiten comparar un parámetro que está siendo monitoreado contra un benchmark o meta previamente establecida

Inventario: Lista de insumos, componentes y bienes que forman parte de una empresa.

Mantenedor: Es la persona responsable de ejecutar las tareas de mantenimiento preventivo y reparaciones.

Mantenimiento: Son aquellas acciones que se realizan sobre un equipo con el objetivo de que pueda llevar a cabo sus funciones.

Monitoreo basado en condiciones: Son rutinas específicas definidas para la recolección de información de la salud actual de la máquina tales como Inspecciones, SOS, Descarga de Datos de Sistemas a Bordo, Tapones, Corte de Filtros, etc. las cuales cuya misión es facilitar la detección temprana de defectos y/o cambios en la salud y la severidad de la aplicación de la máquina, permitiendo que el mantenimiento, las reparaciones y el manejo de la aplicación sean proactivos.

Mantenimiento Centrado en Confiabilidad: Es una metodología utilizada en la estructuración sistemática de las pautas que deben hacerse para que se asegure la continuidad de los equipos según los requerimientos del usuario.

Mantenimiento Preventivo: Son acciones preventivas que se realizan para que un equipo pueda cumplir con su función.

Manual del fabricante: Generalmente es un libro (aunque puede encontrarse en formato digital) en donde se especifican los detalles de operación, de mantenimiento, de reparación y de repuestos de un equipo.

Microsoft Excel: Software basado en hojas de cálculo.

MTBF: El tiempo medio de operación entre fallas de equipos; es el inverso de la frecuencia de fallo, expresada en horas. Los fallos pueden ser el resultado de problemas técnicos del producto, es decir, falta de fiabilidad del equipo, o debido a la negligencia de mantenimiento / reparación, es decir, la ineficacia del manejo del equipo.

MTBS: Es una medida que combina los efectos de la confiabilidad inherente de la máquina y la eficacia de la organización de gestión de equipos en su capacidad de influir en los resultados mediante la evitación de problemas.

MTTR: Es una medida de rendimiento que cuantifica el tiempo de respuesta de la reparación, es decir, la rapidez con que una máquina se devuelve al servicio una vez que ocurre un tiempo de inactividad. El MTTR combina los efectos de la capacidad y facilidad de mantenimiento inherente de la máquina y la eficiencia de la organización de gestión de equipos para proporcionar una acción correctiva rápida en la ejecución de las reparaciones necesarias.

PM: Son actividades o rutinas de mantenimiento preventivo que se ejecutan cada cierta frecuencia de horas operativas.

Planos de máquina: Son dibujos donde se muestran los esquemas eléctricos, hidráulicos, ensamble mecánicos o detalles constructivos y de montaje de la máquina.

Programa de mantenimiento: Es un listado de tareas donde se especifica la frecuencia de ejecución de cada una de ellas para un equipo determinado.

Protocolos de mantenimiento: Los protocolos de mantenimiento son guías que les indican a los mantenedores como deben realizar una determinada actividad, de forma que exista un estándar común para todos los trabajadores sobre cómo hacer una determinada intervención.

Tarea de mantenimiento: Son acciones correctivas o preventivas que se realizan sobre una máquina para que pueda cumplir con sus funciones.

4.2. Marco Teórico

En la literatura existen diversos Modelos de Gestión de Mantenimiento, cada uno con diferentes filosofías y diseñados para atender necesidades específicas. Algunas empresas prefieren implementar combinaciones de modelos para aprovechar las ventajas de cada uno. A continuación se exponen los más conocidos académica e industrialmente, con el objetivo de documentar al lector. No obstante, solamente se detallará el que se aplicó en este proyecto. Los principales modelos son: Mantenimiento Productivo Total (TPM), Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), Mantenimiento Basado en Condición (CBM), Mantenimiento Basado en Riesgo (RBM), Mantenimiento Basado en Tiempo (TBM) y Mantenimiento de Calidad Total (QTM).

Algunos autores como Seiichi Nakajima fundador del TPM, consideran que para eliminar las pérdidas de producción asociadas al estado de los equipos, debe integrarse

toda la organización, principalmente los departamentos de producción y mantenimiento, incluyendo a todo el personal, desde la alta dirección hasta los operadores de planta, de esta forma se garantiza el éxito de un objetivo [2]. Por otro lado, John Moubray, pionero en la implementación del RCM y cuyos trabajos conllevaron a la publicación de la norma SAE JA 1011 “Criterios de Evaluación para Procesos Basados en RCM”, considera que se puede garantizar, enfocándose en las fallas del equipo, lo cual no necesariamente requiere involucrar a todos los trabajadores, simplemente deben tomarse medidas que prevengan su ocurrencia, reduciéndose tiempos de paradas que impacten en la producción [3]. Sin embargo, estas filosofías, aunque diferentes en ciertos aspectos, no son excluyentes. El TPM puede reforzarse con el RCM, aunque implementar el primero requiere de una directriz general que se aplique en toda la compañía, y una certificación ante el CMMI “Condition Monitoring Maintenance Institute”, por lo que se hace imposible de aplicar en muchos casos.

SKF, compañía líder a nivel mundial en el diseño y manufactura de rodamientos, propone el Mantenimiento Basado en Riesgo, el cual es una técnica cuantitativa que elimina tareas de bajo valor y propone actividades dirigidas a los aspectos de alto riesgo comercial, analizando los costos y beneficios de las medidas para mitigar fallos [4]. Caterpillar, el fabricante más grande del mundo en maquinaria pesada para construcción y equipos de minería, sugiere el Mantenimiento Basado en Condición, el cual se basa en análisis cuantitativos usando técnicas basadas en los parámetros de los equipos, se usan tecnologías como: análisis de vibraciones, termografía infrarroja, tintas penetrantes, alineaciones y balanceos, entre otras[5]. Las metodologías anteriores, al ser cuantitativas

requieren de planes preventivos previamente establecidos, y que sean acordes al contexto de la instalación o máquina donde se vayan a implementar.

A la luz de saber ¿Cuál metodología es mejor? Debe tenerse en cuenta que cada una aporta distintas cosas, unas se enfocan en el personal, otras en el equipo, otras en la economía, etc. Por lo anterior, debe conocerse el contexto en que van a ser aplicadas, es decir ¿Qué se va a mantener? ¿Qué mantenimiento se le ha hecho? ¿Cuáles son las políticas de la organización? ¿Cuánto es el capital disponible para las tareas de mantenimiento? ¿De cuánto tiempo se dispone? Es por eso, que en el presente trabajo se aplicara el RCM tomando algunos aspectos del CBM. Principalmente, porque la organización tiene directrices que difícilmente pueden cambiarse desde la Unidad de Mantenimiento, lo cual hace imposible implementar el TPM. Además, la estrategia RBM debe aplicarse después de contar con un plan plenamente establecido, donde puedan identificarse mejoras y apuestas a futuro.

4.2.1. Metodología del RCM

El RCM es una metodología de análisis, sistemático, objetivo y documentado que puede aplicarse a cualquier instalación industrial. Es importante, ya que permite optimizar o desarrollar un plan de mantenimiento. El RCM analiza cada sistema y como éste puede fallar funcionalmente. Los efectos de cada falla son analizados y clasificados de acuerdo de acuerdo al impacto en la seguridad, operación y costo [3].

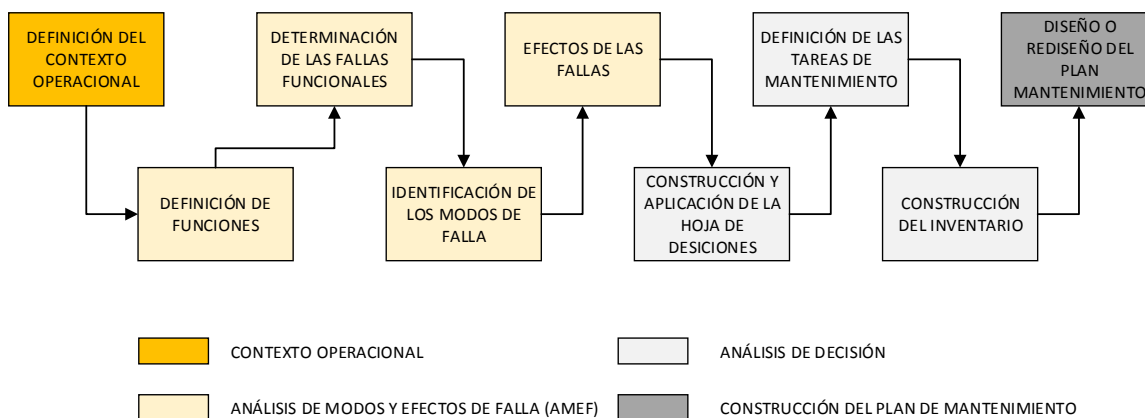
Su principal objetivo, es encaminar todas las labores de mantenimiento a conservar las funciones que realizan los equipos, más que al equipo en sí. Esto se debe, a que la función de la maquina es lo que interesa desde el punto de vista productivo. Lo

anterior implica que se busquen equipos en condiciones suficientes para realizar su función, más que equipos que parezcan nuevos. También implica un conocimiento detallado de las condiciones en que se realizan las funciones y, fundamentalmente, las causas que las interrumpen o dificultan.

Para aplicar ésta metodología debe contarse con un grupo interdisciplinario, el cual debe tener técnicos e ingenieros. Dicho grupo será el responsable de desarrollar el análisis de las maquinas o sistemas. Este trabajo contó con tres mecánicos, un electricista, un operador, un ingeniero de planeación (planner de mantenimiento) y un ingeniero de mantenimiento (facilitador).

El RCM tiene varias etapas, a grandes rasgos pueden resumirse en cuatro, las cuales se exponen a continuación: definición del Contexto Operacional del equipo, desarrollo del Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF), desarrollo del Análisis de Decisión y construcción del plan de mantenimiento (Ver Figura 2).

Figura 2. Metodología del RCM



Fuente propia basada en [3].

4.2.1.1. Levantamiento de la información

Como se había expuesto anteriormente, para realizar el RCM debe contarse con un grupo interdisciplinario, el cual debe hacer el análisis de los sistemas y componentes de los equipos. Se pueden hacer reuniones diarias, semanales o quincenales de una o dos horas. La frecuencia con que se realizan las sesiones, va en función del tamaño de la instalación o de la cantidad de equipos a analizar, como también de la urgencia con la que deba implantarse el plan. Para el caso de Cerro Matoso, se hicieron sesiones de lunes a viernes de ocho horas durante cuatro semanas.

4.2.1.2. Definición del Contexto Operacional

El contexto operacional puede tener tres enfoques diferentes. El primero es el enfoque operativo, donde se toma en cuenta el propósito de cada sistema, se describen los equipos, las metas y procesos de seguridad, el ambiente, la operación, las inquietudes que puedan tenerse y los planes a futuro. El segundo, es el enfoque de personal, el cual tiene en cuenta los turnos rotativos, las operaciones, el mantenimiento, los parámetros de calidad y gerencia. El tercer enfoque es el de los procesos, donde se toma en cuenta la división de éstos en sistemas, se definen los límites del sistema y se hacen listados de componentes para cada sistema.

El enfoque utilizado en el presente trabajo será una combinación del primero y el tercero, principalmente porque el proceso de acarreo de la actividad minera involucra mucho personal, el cual debe permanecer en constante actividad y que además se encuentra disperso por toda la mina, lo cual hace engorroso darle un enfoque de personal.

4.2.1.3. Análisis de Modos y Efectos de Falla

El Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF), es un procedimiento que permite identificar fallas funcionales en equipos o instalaciones industriales. Igualmente permite conocer sus procesos y sistemas. Sirve para evaluar y clasificar objetivamente los efectos, causas y consecuencias asociadas a las fallas, con el propósito de evitar su ocurrencia y tener documentación, que sirva como soporte para su prevención.

En ésta etapa deben responderse cinco preguntas en el siguiente orden:

a) ¿Cuáles son las funciones y los estándares de funcionamiento de cada sistema?

Para responder esta pregunta, deben identificarse los parámetros de operación del equipo o componente analizado, también se debe explicar cuál es el trabajo que éstos realizan. En este proyecto, se usará el Software SISCAT de Caterpillar para determinar los rangos de operación aceptable de cada componente (temperaturas, presiones, caudales, entre otros) y sus funciones respectivas. Lo anterior se contrastará con la opinión los técnicos de Cerro Matoso S.A.

b) ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?

Para responder esta pregunta, debe tenerse en cuenta el contexto operativo del equipo, ya que existen muchas formas en las que puede fallar. Es importante contar con un registro de la instalación o máquina que es objeto de estudio. En este trabajo, se utilizaron las bases de datos con el histórico de fallas de la flota de camiones, así como las experiencias del personal de mantenimiento en los últimos años.

c) ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?

En esta pregunta hay que tener especial cuidado, ya que a diferencia de las dos anteriores tiende a ser más cualitativa que cuantitativa, por lo que debe irse directo al grano para identificar claramente los factores que ocasionan que el equipo no funcione adecuadamente. Dicho de otra forma, se debe identificar la causa o causas que originan las fallas. Al igual que en la pregunta anterior se utilizará el histórico de falla de los camiones.

d) ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?

Para responder esta pregunta debe consultarse al operador, ya que en este punto se busca conocer cuáles son los efectos de la falla. Es decir, que puede llegar a sentir él o como se da cuenta que el equipo está fallando, así como el impacto que se genera al ambiente. Por esta razón, debe responderse cautelosamente, ya que se tiene en cuenta la seguridad del personal que opera el equipo y los aspectos medioambientales. El propósito de esto, es tomar las medidas necesarias para mitigar el alcance de la falla. Es un aspecto importante al momento de decidir qué medidas preventivas deben tomarse.

e) ¿En qué sentido es importante cada falla?

Esta pregunta busca identificar cuáles son las consecuencias de cada falla, y está directamente relacionada con la pregunta anterior. Los efectos y las consecuencias permiten tomar precauciones. Algunas consecuencias afectan la seguridad del operador, otras afectan la producción y otras no perjudican a nadie, pero si impactan los costos de la unidad o departamento de mantenimiento. Es importante resaltar que si la falla es significativa debe ser prevenida.

4.2.1.4. Análisis de Decisión

Esta etapa permite identificar las posibilidades de prevenir fallas y las acciones que deben tomarse. En este punto se hallan las tareas o actividades de mantenimiento.

Deben responderse las siguientes preguntas:

- a) ¿Qué puede hacerse para prevenir cada falla?

Pueden tomarse cinco tipos de medidas para prevenir las fallas, las cuales son: tareas de mantenimiento, cambios en las actividades de mantenimiento, cambio en las instrucciones de operación, mejoras, y entrenamientos al personal. Lo anterior permite obtener un conjunto de tareas que evitarán fallos, además de otras medidas como: listado de modificaciones, planes de entrenamiento y una lista con procedimientos necesarios de operación.

Luego de determinar las tareas de mantenimiento, se deben establecer sus frecuencias, las cuales pueden hallarse de varias formas. Una de ellas, es mediante tratamientos estadísticos usando un histórico de datos, otra es con modelos matemáticos que permitan predecir la vida útil de los componentes. Sin embargo, en caso de no disponer de ninguna de las anteriores, debe hacerse con base en la opinión de expertos, esta última es la más subjetiva y menos precisa pero es la más utilizada, ya que no siempre se dispone de datos históricos o modelos matemáticos.

En este proyecto se determinaron las frecuencias de mantenimiento basándose en un histórico de datos y teniendo en cuenta la opinión de los mecánicos y electricistas pertenecientes a la Unidad de Negocios Mantenimiento Mina de Cerro Matoso S.A.

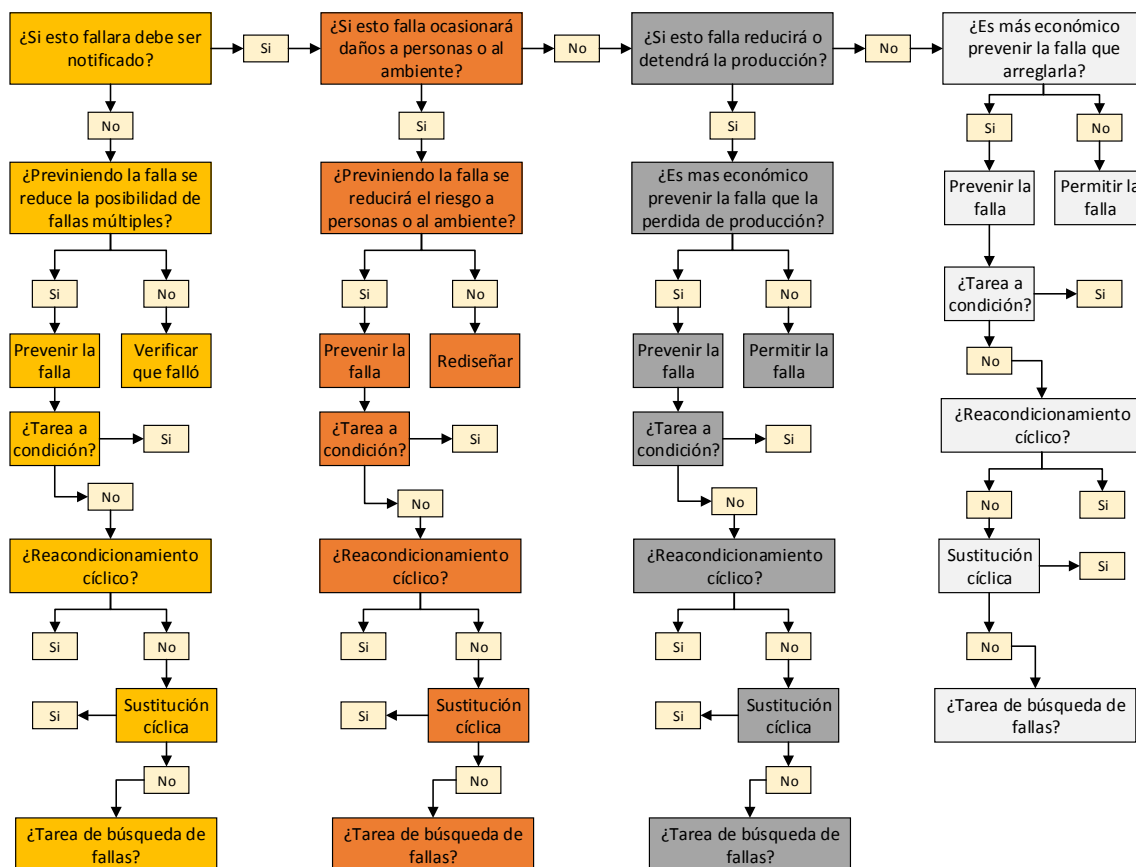
- b) ¿Qué debe hacerse si no se puede prevenir la falla?

Esta pregunta permite establecer cuáles son los sistemas o componentes que deben ser rediseñados en caso de que afecten la seguridad o el medio ambiente, y cuales deben permanecer en bodega en caso de que impacten en la producción o en los costos del departamento de mantenimiento.

4.2.1.5. Diagrama de Decisión del RCM

Para determinar las tareas a realizar, debe seguirse el diagrama de decisión, también conocido como hoja de decisión. Aquí se formulan varias preguntas que deben responderse en un orden específico (Ver Figura 3), de esta forma se encontraran las medidas a tomar para prevenir las fallas.

Figura 3. Diagrama de Decisión (Resumido)



Fuente propia basada en [3]

Si la medida a tomar es de carácter preventivo, se tienen tres posibilidades: tareas cíclicas “a condición”, tareas de reacondicionamiento cíclico y tareas de sustitución cíclica.

a) Tareas cíclicas “a condición”

Son actividades predictivas, ya que están enfocadas en determinar cuándo un componente está próximo a fallar. Para el caso de los camiones, una tarea a cíclica a condición sería un cambio de llantas, cuando se observan desgastes considerables (llantas lisas o deshilachadas).

b) Tareas de reacondicionamiento cíclico

Son actividades que se realizan a intervalos de tiempo previamente definidos, consisten principalmente en ajustes, lubricación y lavado.

c) Tareas de sustitución cíclica

Estas actividades también se realizan a intervalos de tiempo previamente definidos, y consisten en sustituir piezas sin importar su estado de desgaste o tiempo de operación. Se realizan sobre componentes sumamente críticos, generalmente se hacen para prevenir afectaciones al operador o al ambiente.

Cuando la falla no pueda ser prevenida deben hacerse rediseños a los componentes en consideración. Igualmente, los componentes críticos deben tener repuestos en bodega.

4.2.1.6. Uso del Diagrama de Decisión del RCM

Para explicar el uso del diagrama de decisión se hará un ejemplo basándose en el trabajo que se va a desarrollar. Es necesario conocer los modos de falla, efectos y consecuencias asociados a cada fallo funcional.

El diagrama de decisión se aborda de la siguiente forma:

a) Definir una función del sistema o componente

En este ejemplo se va a analizar una función del sistema de dirección del camión CAT 777G. La función es la siguiente: “Activar la dirección secundaria en caso de la presión de aceite de la dirección se baje a 239 ± 15 psi, generando un código de “Baja presión de aceite de la bomba de dirección”.

b) Definir las fallas funcionales

Existen dos fallas asociadas a que el equipo no pueda cumplir con la función previamente establecida. Las cuales se listan a continuación:

- No transmite un torque de 1710 a 1800 RPM al tren de potencia.
- Transmite un torque inferior de 1710 Nm al tren de potencia.

c) Definir los modos de falla asociados

Para el ejemplo se abordara la siguiente falla funcional: “No transmite un torque de 1710 a 1800 RPM al tren de potencia”. Lo anterior puede ocurrir por diversos motivos: puede ser porque combustible está agotado, porque el sistema de combustible esta en falla, porque el ECM del motor esta fallando, porque la volante del motor se fatiga, porque el relay mainpower falla, entre otras. A cada una de las maneras en que puede ocurrir un fallo se le denomina modo de fallo.

d) Definir los efectos y consecuencias de cada modo de falla.

Para el ejemplo en desarrollo se va a definir la consecuencia y el efecto ocasionados cuando el relay mainpower falla. Lo mismo debe hacerse para todos los modos de falla.

¿Qué pasa si el relay mainpower falla? Si en cualquier momento el relay mainpower se aísla no alimenta el circuito de inicio de la máquina, (los ECM de la máquina, cajas de fusibles, relay menores y accesorios). El motor diésel no enciende y no alimenta los accesorios del camión.

e) Aplicar el diagrama de decisión

Es importante resaltar que el diagrama de decisión tiene cuatro columnas principales, las cuales se identifican como se menciona a continuación. La primera tiene la letra H (Health o Salud), la segunda tiene la S (Security o Seguridad), la tercera tiene la E (Environment o Ambiente), y la cuarta tiene la O (Operation u Operación). Las acciones a tomar van en función de la salud, la seguridad, el ambiente y la operación.

Al aplicar el diagrama debe seguirse la lógica que éste indica, tal como se muestra en la Figura 19. Las preguntas que se plantean para el modo de falla: “relay mainpower falla” son:

¿Será evidente ante los operarios ante la pérdida de función causada por este modo de falla actuando en circunstancias normales? La respuesta es sí, ya que el equipo no enciende y el operador se da cuenta inmediatamente.

Si la respuesta es sí, el diagrama plantea otra pregunta: ¿Produce este modo de fallo una pérdida de función u otros daños que pudieran afectar o matar a alguien? La respuesta es no, ya que la consecuencia que ocasiona es que el equipo se apague.

Si la respuesta es no, el diagrama plantea otra pregunta: ¿Produce este modo de falla una pérdida de función u otros daños que puedan infringir cualquier normativa

medioambiental? La respuesta es no, porque la consecuencia que se genera es el equipo se apague, no afecta el medio ambiente.

Si la respuesta es no, el diagrama plantea otra pregunta. ¿Ejerce este modo de fallo un efecto adverso directo sobre la capacidad operacional (producción, calidad de servicios, costos operativos, entre otros)? La respuesta es sí, ya que si se detiene el camión se deja de mover mineral, y por consiguiente se disminuye la producción.

Si la respuesta es sí, el diagrama plantea otra pregunta ¿Es técnicamente factible y merece una tarea a condición? La respuesta es no, ya que el relay es un componente eléctrico, y sus estados de funcionamiento son: “funciona o no funciona”, es imposible que trabaje en falla.

Si la respuesta es no, el diagrama plantea otra pregunta. ¿Es técnicamente factible y merece una tarea de reacondicionamiento cíclico? La respuesta es no, ya que el relay es un componente que no tiene una edad estimada en que falle, su periodo de fallo es aleatorio.

Si la respuesta es no, el diagrama plantea otra pregunta. ¿Es técnicamente factible y merece una tarea de sustitución cíclica? La respuesta es no, ya que el periodo de falla es aleatorio, no puede predecir en que momento puede fallar el componente, por lo que no vale la pena cambiarlo periódicamente.

Por último, si la respuesta es no, el resultado que da el diagrama de decisión es que no se haga ningún mantenimiento. También plantea la posibilidad de un rediseño, que puede ser de la maquina o de los planes de mantenimiento (si los hay). Para el caso en consideración, no se hará ningún mantenimiento.

4.2.2. Tipos de Mantenimiento

Existen cuatro tipos de mantenimiento ampliamente conocidos, el primero es el mantenimiento correctivo, también conocido como mantenimiento reactivo, ya que se ejecuta ante fallas súbitas o imprevistas. Existe también el mantenimiento planeado, el cual se utiliza cuando el equipo está operando en falla, pero ésta no afectará la función del sistema, componente o de la máquina misma, consiste en detectar el fallo y determinar los recursos e insumos necesarios para atenderlo.

También existe el mantenimiento preventivo, el cual consiste en establecer frecuencias de atención de los equipos y realizarle trabajos (que pueden ser eléctricos, mecánicos, de lubricación, limpieza, entre otros) que prevengan la aparición de fallas. El último es el mantenimiento predictivo, el cual utiliza técnicas de monitoreo basado en condiciones para predecir la frecuencia con que puede presentarse un daño en el equipo, y hacer cambios o reconstrucciones a los componentes afectados.

Cerro Matoso S.A se sigue un programa de mantenimiento preventivo, el cual contiene rutinas, actividades y tareas de mantenimiento, cuya definición se explicará en los párrafos siguientes.

4.2.3. Métricas de desempeño

Son indicadores que se utilizan para cuantificar la eficiencia en los procesos de mantenimiento, involucrando la ejecución, operación, supervisión, administración, entre otros. Su uso es importante, ya que permite conocer en todo momento el estado de todas las áreas que requieran evaluación [7]. Deben darse a conocer al personal gerencial, administrativo y técnico, con el ánimo de mejorar continuamente los procesos.

Los indicadores tienen diferentes enfoques, algunos se centran en la parte técnica (por ejemplo aquellos que miden confiabilidad y disponibilidad), otros en los costos (los que impactan la operación, costos del personal, etc.) y otros en la disciplina del proceso (por ejemplo los que miden la eficiencia en la planeación). Para el presente trabajo se proponen los siguientes indicadores, con el objetivo de que sirvan de apoyo para el plan de mantenimiento.

a) Tiempo medio entre paradas (MTBS)

Este indicador permite conocer el tiempo medio entre paradas (correctivas y programadas). Se utiliza para medir la efectividad de la estrategia de mantenimiento de un activo o componente. Se calcula de la siguiente forma:

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo operativo (horas)}}{\text{Cantidad de acciones de mantenimiento}}$$

Ecuación 1. Tiempo medio entre paradas (MTBS)

Se define tiempo operativo como el intervalo de tiempo durante el cual el activo está realizando su función requerida. Las acciones de mantenimiento son las tareas necesarias restaurar un componente a una condición de funcionamiento especificada. Una acción de mantenimiento incluye las tareas correctivas, preventivas y predictivas que interrumpan la función del activo.

b) Tiempo medio entre fallas (MTBF)

Este indicador mide el tiempo promedio entre las paradas no programadas o correctivas. Se utiliza para evaluar la confiabilidad de un activo reparable. Suele expresarse como la probabilidad de que un equipo realice su función prevista sin fallar durante un período de tiempo, bajo condiciones especificadas.

Un aumento en el MTBF indica mayor fiabilidad del activo. Se calcula de la siguiente forma:

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo operativo (horas)}}{\text{Numero de Fallas}}$$

Ecuación 2. Tiempo medio entre fallas (MTBF)

Se denomina falla al evento que le impide al activo cumplir con su función requerida.

c) Tiempo medio para reparar (MTTR)

Es el tiempo promedio necesario para restaurar un activo a sus capacidades operacionales después de un fallo. Su objetivo es evaluar la capacidad de mantenimiento, incluida la eficacia de los planes y procedimientos.

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo de reparación (horas)}}{\text{Cantidad de acciones de mantenimiento}}$$

Ecuación 3. Tiempo medio para reparar (MTTR)

Se define tiempo de reparación como el tiempo requerido para restaurar la función de un equipo, reparando o reemplazando alguno de sus componentes. La duración de la reparación comienza cuando el activo deja de operar hasta que su operatividad es restaurada (incluye el tiempo toma chequearlo a fin de comprobar su operatividad).

d) Disponibilidad

Este indicador permite cuantificar cuanto tiempo está funcionando el activo como debe. Se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Disponibilidad} = \left[\frac{\text{Tiempo disponible}}{\text{Tiempo requerido}} \right] * 100\%$$

Ecuación 4. Disponibilidad (D)

Se define tiempo disponible como la cantidad de tiempo que un activo está produciendo un producto o proporcionando un servicio. El tiempo requerido es el tiempo que el activo se necesita en la operación.

4.2. Análisis bibliográfico

Las metodologías de mantenimiento, ayudan a las empresas, a organizar sus recursos para garantizar que los equipos trabajen el tiempo que son requeridos, con el objetivo de cumplir los planes de producción. Entre las muchas metodologías que existen, el RCM maximiza el uso de los equipos enfocándose en la prevención de la ocurrencia de fallas, y cómo cada falla implica una parada o una reducción en la producción, al mejorar la disponibilidad, indirectamente se mejora la producción.

Igualmente, el RCM ayuda a entender completamente el funcionamiento de los equipos de una instalación industrial, ya que divide a la maquina en sus sistemas y componentes principales, y no la examina como un todo, lo cual la hace compleja de estudiar. De igual manera, hace necesario conocer los parámetros de operación de los equipos, conforme a su contexto de operación, con ello se logra establecer eficazmente cuando el sistema o componente está en falla y cuando no lo está.

El RCM, mediante el diagrama de decisión y el análisis de modos y efectos de falla, ayuda al grupo interdisciplinario a plantear las tareas de mantenimiento necesarias en la construcción de un programa de mantenimiento. Asimismo, determina los componentes que realmente se deben tener en inventario, evitando sobre costos y optimizando el gasto en repuestos.

Una vez se haya elaborado e implementado el plan de mantenimiento, debe haber una manera de hacerle control y monitoreo, para ellos se utilizan las métricas o indicadores de desempeño. La disponibilidad permite conocer el tiempo en que los equipos están disponibles para ser utilizados, y la confiabilidad determina que tan eficientemente se está haciendo el mantenimiento.

4.3. Conclusión

Todo lo anterior, permite concluir que diseñar un plan de mantenimiento cuya base de fundamentación sea el RCM, mejora la disponibilidad de los equipos y la producción de la empresa, ya que al enfocarse en la prevención de fallas, se busca evitar que los componentes y sistemas dejen de cumplir con su función, en lugar de centrarse en intervenir el equipo periódicamente, donde generalmente se realizan tareas periódicas que representan gasto de recursos y tiempo, pero que no contribuyen a que las máquinas cumplan con su trabajo, o con los parámetros de operación aceptados por los usuarios u operadores.

Por otro lado, con la ayuda del RCM se entiende mejor el funcionamiento de las máquinas, ya que la divide en sistemas, componentes y subcomponentes, y los estudia individualmente, determina sus funciones primarias y secundarias, sus parámetros de

operación aceptables, lo que permite establecer con exactitud, cuándo se genera un fallo funcional.

Al conocerse los sistemas principales del equipo, sus componentes asociados, funciones primarias y secundarias, y sus parámetros de operación específicos. Se puede realizar un análisis de modos y efectos de falla y de decisión, donde se establecen todas las causas, efectos y consecuencias de los fallos funcionales, lo que contribuye a determinar las mejores acciones a tomar, conocer si requiere monitoreo, sustitución o reacondicionamiento. Lo que conlleva construir un inventario óptimo, y buenas tareas y prácticas de mantenimiento.

Capítulo 5

Metodología

En este capítulo se describen los procesos que se llevaron a cabo para desarrollar el plan de mantenimiento de la flota de camiones CAT 777G de Cerro Matoso S.A.

5.1. Diagnóstico del plan de mantenimiento actual

La primera etapa del proyecto consistió en diagnosticar el plan de mantenimiento actual de la unidad de negocios Mantenimiento Mina. Se identificaron las rutinas de mantenimiento, y se mostró el número de actividades y duración de cada una de ellas. Se detalló la importancia de contar con protocolos de mantenimiento. También se analizaron los problemas existentes con los formatos de mantenimiento utilizados, con la administración de la información y con el control y monitoreo. Por último, se detallaron las carencias y debilidades del plan.

5.1.1. PM o Rutinas de Mantenimiento actuales

En Cerro Matoso se entiende por PM, como una rutina de mantenimiento que se ejecuta cada vez que el equipo cumple 500 horas de operación (además de la rutina se realizan otras labores previamente establecidas por el Planner de Mantenimiento).

Se dispone de ocho rutinas de mantenimiento, las cuales se hacen cada 500 horas de operación. Además, por fuera de éstas se realizan reemplazos de componentes cada determinado tiempo. Las actividades asociadas a cada rutina se limitan a ajustes, inspecciones, reemplazos, limpieza y engrase y cambio de lubricantes. Por ejemplo todos los fluidos de la maquina deben cambiarse por tiempo sin importar su condición.

Igualmente, en las rutinas de 500, 1500, 2500 y 3500 horas se hacen las mismas actividades, mientras que en las de 1000, 2000, 3000 y 4000 se acumulan las actividades de acuerdo a lo especificado en la Tabla 1, la cual muestra que existe gran desproporción en tiempo y actividades entre las rutinas de 500, 1000, 2000, 3000 y 4000 horas.

Tabla 1 - Rutinas de Mantenimiento actual

Rutina	Actividades a realizar	Duración / Actividades
Rutina de 500 horas	Realizar solamente tareas de 500 horas	4 horas / 16
Rutina de 1000 horas	Tareas de 1000 más tareas de 500 horas	7 horas / 32
Rutina de 1500 horas	Realizar solamente tareas de 500 horas	4 horas / 16
Rutina de 2000 horas	Tareas de 2000 más tareas de 1000 y 500 horas	9 horas / 36
Rutina de 2500 horas	Realizar solamente tareas de 500 horas	4 horas / 16
Rutina de 3000 horas	Tareas de 3000 más tareas de 1000 y 500 horas	10 horas / 43
Rutina de 3500 horas	Realizar solamente rutina de 500 horas	4 horas / 16
Rutina de 4000 horas	Tareas de 4000, 2000, 1000 y 500 horas	12 horas / 44

Fuente propia

La Tabla 2 muestra las tareas de mantenimiento que deben hacerse por fuera de las rutinas según las recomendaciones del fabricante.

Tabla 2 - Actividades de mantenimiento fuera de las rutinas

Frecuencia	Actividades a realizar
Cada 3 años	Reemplazar cinturón de seguridad
6000 horas o 3 años	Agregar Prolongador de vida útil de refrigerante
6000 horas o 4 años	Reemplazar termostato de agua de enfriamiento
7500 horas	Reconstruir o instalar motor nuevo y revisar bomba de agua
10000 horas	Reemplazar terminal de dirección
12000 horas o 6 años	Cambiar refrigerante del sistema de enfriamiento
15000 horas	Reconstruir o instalar motor nuevo

Fuente Propia

5.2.1. Protocolos de mantenimiento

La empresa no dispone de protocolos de mantenimiento (ver bloque conceptual). Por lo que la tarea de establecer en qué estado se encuentra un determinado componente está bajo el criterio de cada mantenedor. Lo que para algunos mantenedores puede ser bueno, para otro puede ser regular o malo, ya que no existe un estándar o criterio común para todos.

Igualmente, la carencia de protocolos de mantenimientos también genera que a algunos mantenedores les tome más tiempo una actividad que a otros, ya que cada uno interviene el equipo de diferente manera. No se utiliza la misma ruta de intervención. Por ejemplo, para hacer un PM hay que hacer una serie de tareas, y al no existir un protocolo de mantenimiento, dichas tareas no tienen un orden a seguir por lo que cada quien decide como realiza la actividad.

5.2.2. Formatos de mantenimiento

Actualmente se disponen de cinco formatos de mantenimiento. Uno es para llevar el registro de cambio de llantas, en él se escribe la profundidad o desgaste de las llantas de los camiones y se comenta si se hizo un reacondicionamiento, un cambio o si se sustituyó por una llanta de otro equipo.

Se tiene un segundo formato donde se dice cuáles fueron los sistemas del equipo que fueron intervenidos (Ver Figura 4). En él también se informa si se cambiaron fluidos y/o filtros, o si se tomaron muestras de aceite de transmisión, diferencial, válvulas de levante, diferenciales, cilindros, ruedas y suspensiones. Se escribe el estado de los tapones magnéticos y si hay juego en las articulaciones.

Figura 4. Formato de mantenimiento tradicional

FECHA:				SUCURSAL ORIGEN:				MECANICO :						
DESCRIPCION														
MARCA		MODEL O		SERIA L		ANO		PLACA		KM. SALIDA				
CARACTERISTICAS														
Nota: Tilda el resultado de la inspección realizada, en caso de no aplicar coloca las siglas N/A (No aplica)														
Nivel de combustible: 1/4 <input type="checkbox"/> 1/2 <input type="checkbox"/> 3/4 <input type="checkbox"/> Full <input type="checkbox"/>														
No	REVISIÓN					B	D	F	No	REVISIÓN				
1	Herramientas								14	Faro delantero izquierdo				
2	Caucho Repuesto								15	Faro delantero derecho				
3	Gato de Levante								16	Faros antiniebla				
4	Batería								17	Luces intermitentes ó de emergencia delanteras				
5	Triángulo de Seguridad								18	Luces de cruce delanteras				
6	Retrovisor								19	Luces de ubicación delantera				
7	Espejo lateral derecho								20	Luces intermitente ó de emergencia traseras				
8	Espejo lateral izquierdo								21	Luces de cruce traseras				
9	Parabrisas delantero								22	Luces de ubicación traseras				
10	Parabrisas trasero								23	Luces de freno				
11	Cepillos del limpia parabrisas								24	Cauchos en uso				
12	Funcionamiento del limpia parabrisas								25	Latonería y pintura				
13	Tapicería								26	Latonería y pintura Furgones				
14	Reproductor									Alarma				

Fuente: Gecolsa. (2012). *Estrategia Monitoreo de Condiciones*

El formato de la Figura 4 es una lista de chequeo donde se indica que la actividad fue realizada, donde “B” es bueno, “D” es dañado y “F” es faltante. Lo cual no aporta mucha información para poder llevar un control de desgaste de componentes.

Por otro lado, se tienen tres formatos para los análisis de monitoreo basado en condición, uno para aceite, otro para vibraciones y otro para ultrasonido, los cuales son realizados por las empresas contratistas Mobil y SKF. Cada una de ellas tiene su formato propio, y son extensos, aproximadamente tienen 5 hojas cada uno.

5.2.3. Administración de la información

La administración de la información de los PM, cambios de repuestos y componentes mayores, se hace mediante formatos físicos los cuales se guardan en archivadores, generalmente no se revisan, y después de algún tiempo se desechan. No existe un respaldo digital o una base de datos que guarde todos esos datos.

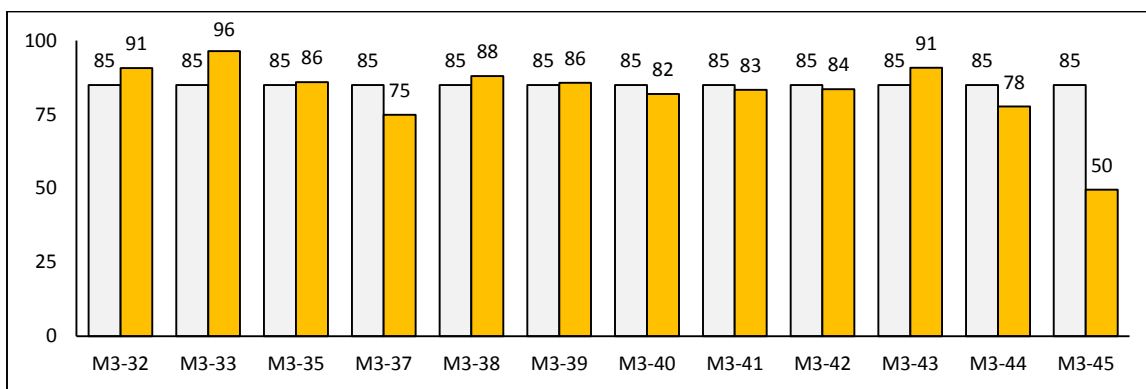
Otro aspecto importante, es que algunos detalles de mantenimiento como correctivos encontrados, comentarios del operador y del técnico, solamente se dicen verbalmente durante el PM, y no se escriben en ninguna parte, por lo que se pierde información valiosa en muchos casos.

5.2.4. Control y monitoreo

La evaluación del rendimiento de la flota se limita al cálculo de la disponibilidad y algunos diagramas de Pareto sobre las fallas más recurrentes. Se hacen reuniones mensuales donde se analizan los datos obtenidos a fin de tomar medidas para incrementar el desempeño de la flota. Los resultados de la disponibilidad se presentan mediante gráficas como la que se muestra en la Figura 5.

El control y el monitoreo carece de un componente importante, la confiabilidad. Como no se mide la confiabilidad de la flota (tiempo medio entre fallas, paradas y reparaciones), no se puede establecer que tan eficientemente se está haciendo el mantenimiento, ya que una buena confiabilidad contribuye a mejorar la disponibilidad.

Figura 5. Gráfica de disponibilidad de abril de 2017



Fuente propia.

5.2.5. Resultados del diagnostico

Lo expuesto anteriormente permite determinar que no existe uniformidad en las rutinas de mantenimiento, ya que algunas están muy cargadas en horas y actividades respecto a otras, lo que en muchos casos genera que el PM de un equipo se inicie en un turno y finalice en otro, dejando algunas tareas incompletas o sin empezar, aumentándose de esta forma el tiempo que se tenía previsto para la intervención, y fallas por falta de continuidad en las labores.

También puede apreciarse que las variables que se tienen en cuenta para los mantenimientos son: reemplazos, cambios, ajustes, limpiezas, inspecciones, revisiones, y lubricaciones. Lo anterior se hace sin tener en cuenta el estado de los componentes ya que se sigue una metodología de Mantenimiento Basado en Tiempo (TBM). En muchos casos

se hacen intervenciones innecesarias, que traen como consecuencia “sobre-mantenimiento” a los equipos, el cual eleva los costos de la unidad, ya que debe disponerse de una gran cantidad de insumos y repuestos en bodega, para cumplir con las tareas y cambios de repuestos que exige el plan (tales como cambios de filtros, cambios de aceite y componentes mecánicos e hidráulicos).

Aunque se utilizan técnicas de monitoreo basado en condición, estas no son suficientes y se administra su información adecuadamente.

El plan actual no dispone de un formato estandarizado que permita conocer los valores de presión, temperatura, RPM, desgastes y juegos en los componentes, ya que, como se dijo anteriormente, se limitan a listas de chequeo donde se marcan las actividades que se hicieron, tales como, limpiezas, inspecciones, cambios, reemplazos, revisiones, lubricaciones y ajustes. La administración de esa información es poco práctica, ya que los formatos al ser guardados en archivadores requieren mucho esfuerzo al momento de revisarlos.

Por último, no se tiene un seguimiento completo del mantenimiento de la unidad, ya que solamente se tiene en cuenta la disponibilidad y algunos análisis de Pareto, dejando de lado indicadores clave como el tiempo medio entre fallas y paradas, y tiempo para reparar, los cuales permiten medir la confiabilidad de los equipos. La Tabla 3 muestra las carencias y debilidades del plan actual.

Tabla 3 - Carencias y debilidades del plan de mantenimiento actual

Ítem	Carencia o debilidad
1	No existe uniformidad en las rutinas de mantenimiento
2	Altos costos por sobre-mantenimiento, producto de seguir una metodología de mantenimiento basado el tiempo.
3	Administración no adecuada de los datos de monitoreo basado en condición
4	Carencia de una base de datos para guardar la información recolectada en el PM
5	Muchos formatos para un solo mantenimiento preventivo.
6	El formato de chequeo actual no permite establecer tendencias de desgaste de componentes.
7	Mucha información se pierde después del PM, debido a que se transmite oralmente y no de forma escrita
8	Mobil y SKF tienen formatos de monitoreo independientes y son extensos

5.3. Recolección de datos de los equipos

La segunda parte del proyecto consistió en recopilar la información de los equipos, mediante los manuales de máquina, y reuniones con los técnicos y operadores, para conocer los parámetros de operación, las actividades de mantenimiento recomendadas, condiciones de uso, y planos hidráulicos, neumáticos, mecánicos y eléctricos de los diferentes sistemas del camión CAT 777G.

Lo anterior se hizo para documentar al grupo interdisciplinario, buscando entender mejor el funcionamiento de la máquina, reconociendo los puntos de operación óptimos, y que permiten que el equipo opere correctamente. También se hizo para identificar cuáles son componentes clave del camión e insumos requeridos para realizar los mantenimientos, con el propósito de diagnosticar eficazmente las fallas funcionales, modos de falla, efectos y consecuencias. Dicha información se usó en el análisis de modos y efectos de falla, y de decisión.

5.3.1. Manuales del fabricante

La empresa cuenta con los manuales del camión CAT 777G física y digitalmente. Se dispone del Software SISCAT de Caterpillar el cual contiene los parámetros de operación de la máquina y los respectivos planos eléctricos, mecánicos, hidráulicos y neumáticos de todos los sistemas y componentes del equipo. Los manuales sirvieron para dividir el equipo en sistemas, y dichos sistemas en componentes.

El manual ayudo a asignar a cada sistema y componente un rango óptimo de operación, de modo que cuando el equipo esté operando fuera de ese rango se presenta una falla funcional. Por ejemplo, el aire acondicionado debe tener una temperatura entre 16 y 28 °C, cuando el parámetro esta por fuera de esos valores, se considera que hay una falla.

5.3.2. Conformación del grupo interdisciplinario

Se conformó un grupo interdisciplinario con dos ingenieros de mantenimiento (un planner y un facilitador), tres mecánicos, un electricista y un operador, con el objetivo de determinar las causas de las fallas definidas previamente y sus modos de ocurrencia asociados. El grupo hizo reuniones donde se definieron los sistemas principales del equipo y las fallas más recurrentes asociadas a dichos sistemas.

El planner de mantenimiento tuvo el rol de establecer las reuniones y de informar las actividades que se iban a desarrollar en cada una de ellas. Por otro lado, el facilitador usando los manuales de maquina definió los parámetros de operación óptimos de los sistemas y componentes del equipo, y sus funciones principales y secundarias.

El rol de los técnicos fue el de dar la información acerca de cómo se da la falla funcional del equipo, y que consecuencias trae. Dicha información era documentada por el planner y por el facilitador. Por último, los operadores daban información sobre el efecto que trae cada falla funcional, es decir, que perciben ellos cuando el equipo está trabajando por fuera de su rango óptimo de operación, tales como, alarmas visuales en la cabina, golpeteo de la transmisión, dirección dura, entre otras.

Capítulo 6

Diseño del plan de mantenimiento

En este capítulo se muestra como se diseñó el plan de mantenimiento de los camiones CAT 777G, entendiendo la estructura organizacional y las estrategias de gestión empresarial de Cerro Matoso S.A. También se realizó un análisis de modos y efectos de falla y otro de decisión, con los que se determinaron las tareas y rutinas de mantenimiento, el inventario de repuestos y el tiempo asociado a las rutinas e intervenciones.

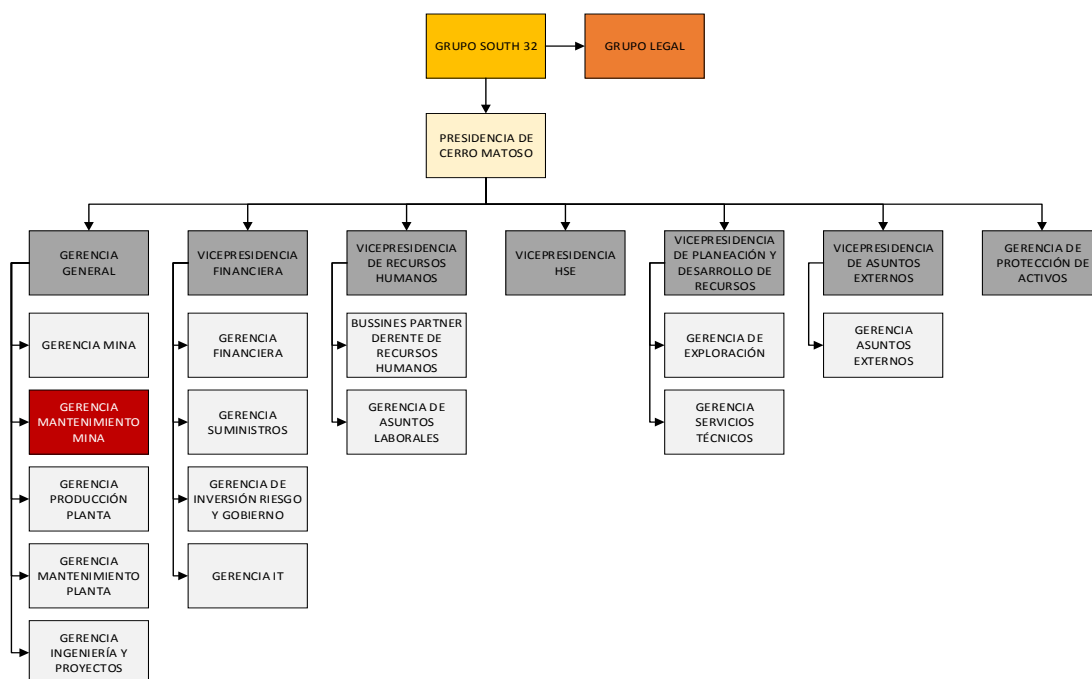
6.1. Contexto operacional

A continuación se detallara la estructura organizacional de la compañía, la descripción de la unidad de negocios Mantenimiento Mina y el entorno operativo de los camiones 777, y cómo estos aspectos afectan en el diseño del programa de mantenimiento.

6.1.1. Estructura organizacional y estrategias de gestión

La empresa Cerro Matoso S.A tiene una estructura organizacional piramidal (Ver Figura 6), donde la unidad de negocios o gerencia encargada de la mantención de los equipos en consideración, se llama Mantenimiento Mina.

Figura 6. Estructura organizacional



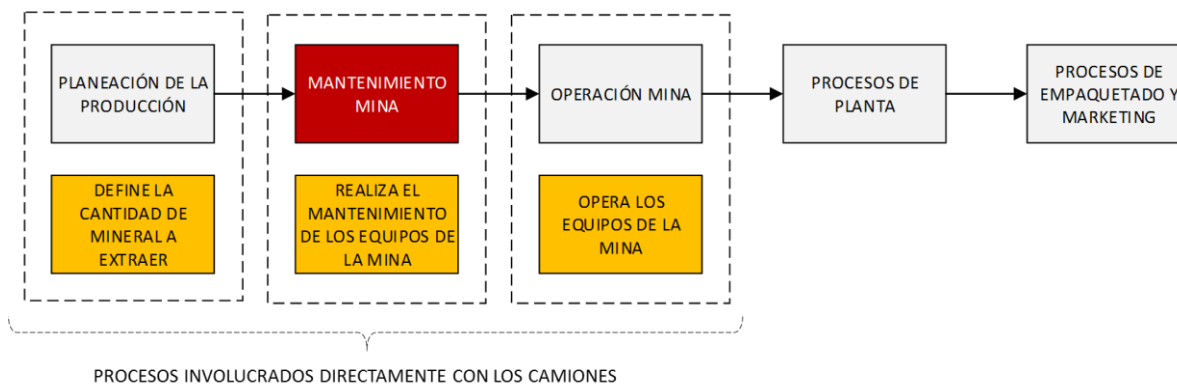
Fuente propia basada en [1]

Las políticas de Cerro Matoso desde 2014 (luego de la escisión de BHP Billiton, antiguo dueño) han sido la reducción de costos y la eliminación de procesos que agreguen

poco valor, con el propósito de aumentar la eficiencia en los procesos y así mejorar las utilidades. Lo anterior es porque la baja concentración de níquel y la disminución en las reservas son variables que no pueden controlarse.

Por otro lado, el proceso de mantenimiento se maneja independientemente del de planeación y operación. El personal encargado de operar los equipos mineros y de planear la producción, pertenece a unidades de negocio distintas. La unidad de negocios Mantenimiento Mina se encarga de reparar e intervenir los camiones, palas, cargadores, tractores, motoniveladoras y perforadoras. La unidad Mina se encarga de operar dichos equipos. La unidad Planeación Mina se encarga de establecer la producción en el corto, mediano y largo plazo (planes semanales, trimestrales, anuales, entre otros).

Figura 7. Flujo de los recursos de las unidades de Cerro Matoso



Fuente propia basada en [1]

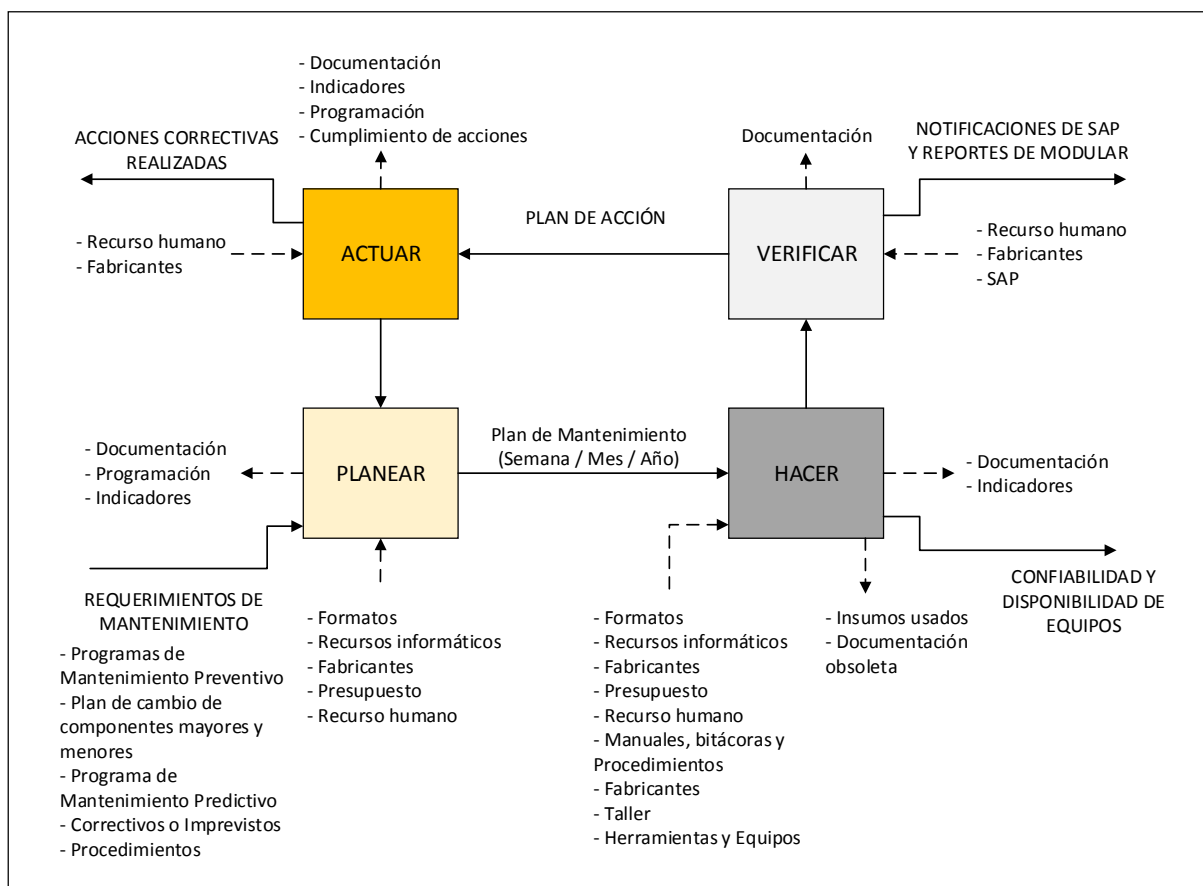
El capital destinado a mantener los equipos mineros es independiente del que se destina para operarlos. Además, debe manejarse de forma que se intente cumplir los planes producción establecidos. Es por ello que las acciones que se toman en la unidad de negocios Mantenimiento Mina deben ir en función de dos aspectos: en la integración con

los procesos de planeación y operación, y con la política de reducción de costos y de eliminación de procesos con poco valor.

6.1.2. Descripción de la unidad Mantenimiento Mina

La unidad de negocios Mantenimiento Mina (igualmente Cerro Matoso), utiliza el ciclo PHVA como herramienta de gestión, con el objetivo de mejorar continuamente los procesos y la calidad del servicio de mantenimiento (Ver Figura 8). Para el caso de los camiones CAT 777G, se definen las acciones correctivas y de mejoramiento según dicho ciclo. Un Planner establece la planificación de actividades, un Supervisor las ejecuta y un Ingeniero de Confiabilidad define las acciones de mejora.

Figura 8. Estrategia de gestión



Fuente propia basada en [1]

Se utilizan herramientas tecnológicas como Modular (dispatch) y SAP (ERP) (Ver el Bloque Conceptual). La primera permite maximizar la producción y la eficiencia, aumentando la seguridad y el control, ya que aprovecha el hardware y el software de comunicaciones del equipo, enviando datos de operación y mantenimiento en tiempo real [9]. La segunda es un sistema de planificación de recursos empresarial, el cual ayuda manejando la información de producción, logística, distribución, inventario, envíos, facturas y contabilidad [10]. La cual sirve de soporte para los procesos de planeación, ejecución y confiabilidad (de la unidad Mantenimiento Mina). Además permite planificar los cambios de componentes mayores y mantenimientos preventivos (PM) en función de la planeación de la producción. De esta forma, se consigue vincular a la parte operativa y de planeación, con el mantenimiento.

También se tienen representantes de Caterpillar, Hitachi y SKF quienes proveen la información técnica del fabricante, permitiendo definir las actividades necesarias a fin de garantizar el buen funcionamiento de los equipos. Para el caso de los camiones CAT 777G, se cuenta con el servicio de Relianz (representante de Caterpillar Minería en Colombia).

Es por ello que las rutinas de mantenimiento de la flota de camiones se han hecho con base en los manuales del equipo, ya que se cuenta con el apoyo técnico de Relianz. Sin embargo, como se expuso anteriormente, la disponibilidad de los equipos no ha sido alcanzada desde su puesta en marcha (se hace un mantenimiento muy general). Es importante destacar, que el budget o meta planeada de disponibilidad, se hace con base en

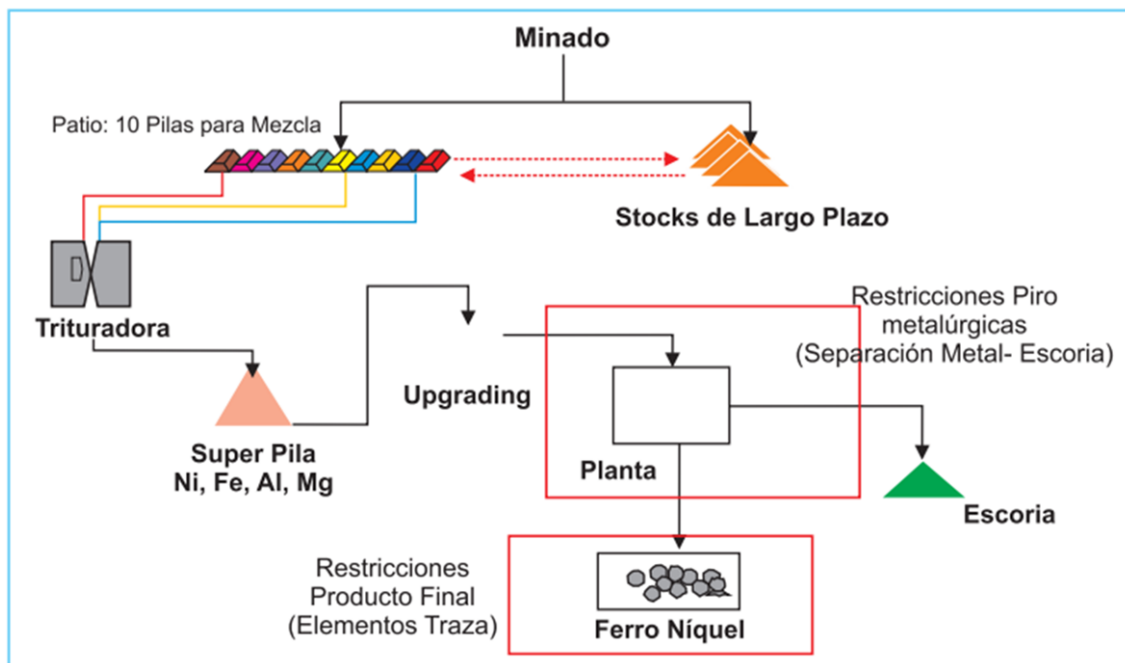
las horas de operación del equipo, y estos al ser nuevos deben dar lo máximo posible (el cual se estableció en 90% Ver Figura 1).

Lo anterior hace viable la implementación del RCM, ya que se harían con recursos propios de la unidad, no se vería afectado por el modelo de gestión existente y además se alinea perfectamente con las políticas de la organización, principalmente porque se eliminarían tareas de mantenimiento innecesarias, reduciendo costos por horas hombre.

6.1.3. Descripción del entorno operativo

Los camiones CAT 777G de Cerro Matoso operan en Montelíbano Córdoba, donde la temperatura media anual es de 30 °C, con una humedad relativa que oscila entre 80% y 90% y a una atmósfera de presión aproximadamente. Además, deben trabajar 24 horas al día durante todo el año. Son utilizados para mover y descargar el mineral minado a Pilas de Mezcla y a Stocks, con dicho material se arma una Super Pila con una composición química previamente definida (a esta parte se le denomina proceso minero). Luego el mineral es llevado a secadores, calcinadores, etapas piro metalúrgicas, granulación, entre otros, para obtener el ferro-níquel (a esta parte se le denomina proceso de planta).

Figura 9. Flujo del proceso de producción de Cerro Matoso S.A



Monterrosa, Nelson. (2007). Optimización de Reservas en el complejo minero-metalúrgico Cerro Matoso

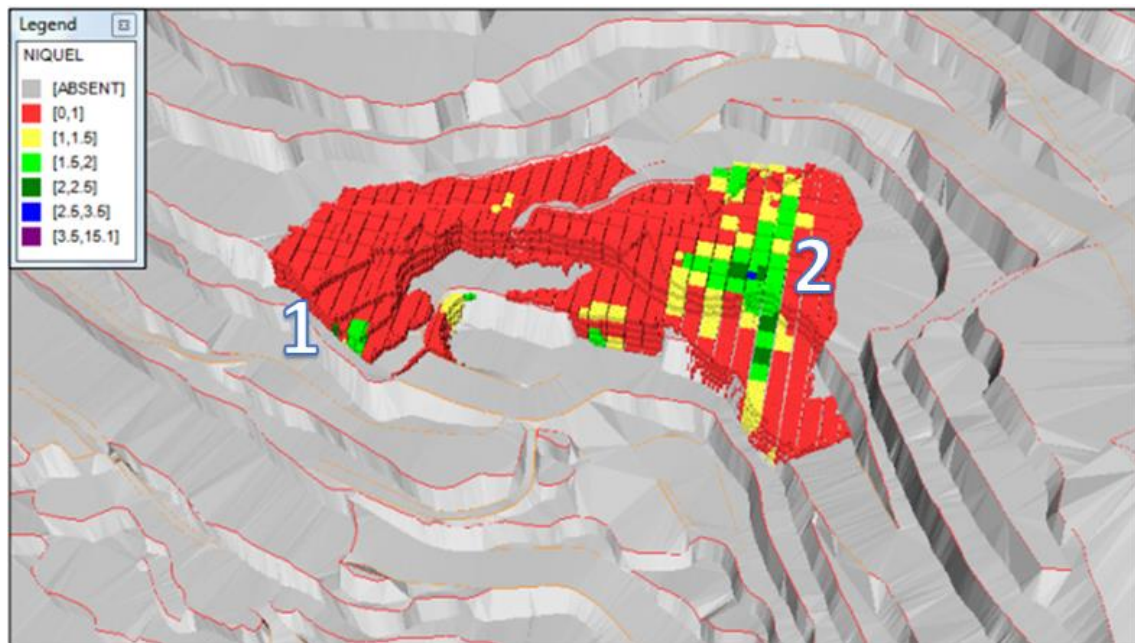
S.A. [Figura]. Recuperado de http://www.upme.gov.co/docs/niquel_colombia.pdf

Los camiones son asignados a diferentes partes de la mina según la composición química estimada de la Super Pila. Esto se hace porque el níquel tiene diferentes concentraciones en toda el área de explotación, por lo que los equipos deben mover mineral de diferentes lugares, algunos de esos orígenes están muy lejos respecto a los patios donde deben armarse los Stocks o las Pilas para mezcla.

La

Figura 10 muestra cómo se distribuye el tenor de níquel en un área cualquiera, se aprecian dos puntos con concentraciones superiores al 1.5%. Es importante resaltar la mina tiene el mismo comportamiento. Cuando se establecen los planes de construcción de la Super Pila (también conocido como Plan de Pila o de Mezcla). Se asignan equipos a orígenes como el que se muestra en la imagen.

Figura 10. Concentración de níquel de un origen cualquiera



Fuente propia basada en [11].

Cerro Matoso tiene una política de seguridad muy estricta, donde el medio ambiente y la salud del trabajador es primordial. Es por ello, que ante algún mal funcionamiento o bajo confort, el operador debe llevar el equipo a mantenimiento para evaluar y corregir la falla. Algunas de esas fallas son: aire acondicionado deficiente, pérdida de potencia, luces en mal estado, llantas desgastadas, fugas o humedades de aceite hidráulico, entre otras.

El plan de mantenimiento debe garantizar la seguridad del operador y la operatividad del equipo durante el mayor tiempo posible en el año, ya que un equipo inactivo disminuye 6,43% la disponibilidad de la flota (aproximadamente) y por consiguiente en la producción se reduce.

6.1.4. Identificación de los camiones CAT 777G

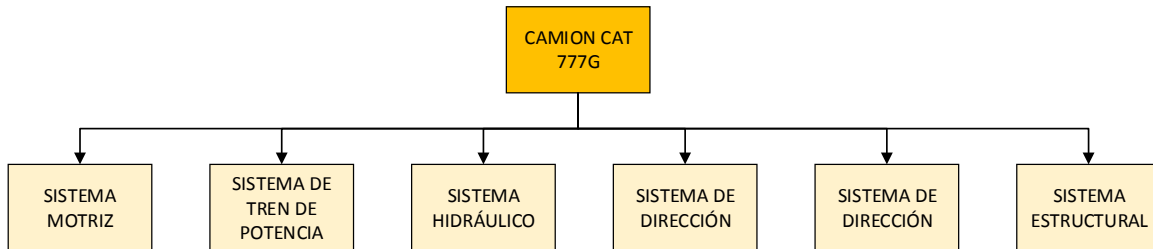
Los camiones CAT 777G de Cerro Matoso tienen el siguiente código que permite identificarlos: M3-ID, donde ID es el número de identificación de cada equipo. Los equipos van desde el 32 hasta el 45. Por ejemplo el equipo 43 se identifica de la siguiente forma: M3-45.

6.2. Separación de los equipos en sistemas y componentes

Después de conocer los equipos y su contexto operacional, la siguiente etapa fue identificar sus sistemas y componentes principales, con el objetivo de estudiarlos por separado durante el análisis de modos y efectos de falla. Debe resaltarse que el desglose es tan minucioso como el equipo interdisciplinar lo considere. Se debe realizar esta separación ya que se reducen las posibilidades de olvidar algún componente del camión que pueda ser susceptible a fallas.

La clasificación de los sistemas y subsistemas expuestos en el presente documento se hizo con base en la división de South32 y que es manejada a través del sistema SAP.

Figura 11. Taxonomía del camión CAT 777G

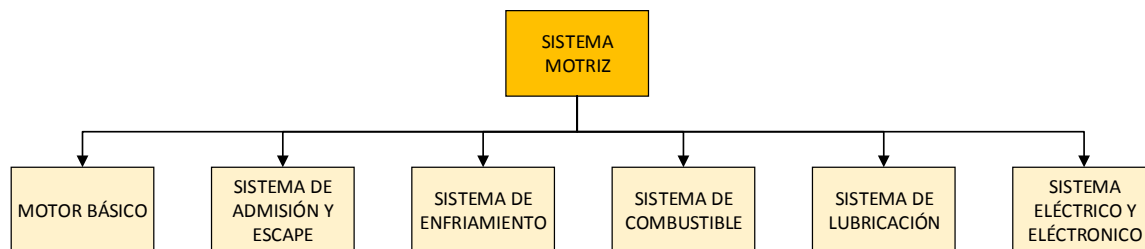


Fuente propia

6.2.1. Sistema motriz

El sistema motriz es el encargado producir la energía necesaria para mover el camión. Su función principal es convertir la fuerza de combustión de los cilindros en par giratorio. Esto lo hace entregando un torque de 1710 Nm, el cual es distribuido a un conjunto de componentes encargados de convertir y transmitir la potencia recibida del motor, hasta los mandos finales y llantas del camión.

Figura 12. Subconjuntos del sistema motriz



Fuente propia

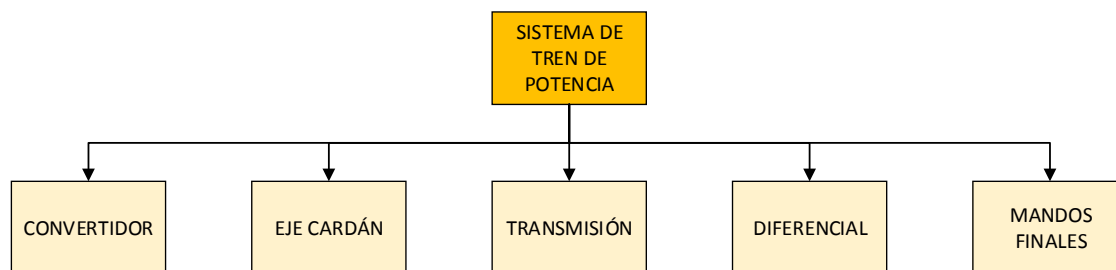
El motor básico que se encarga de producir la energía para el movimiento, el sistema de admisión y escape tiene la finalidad de orientar el aire exterior hacia la parte

interna del motor y expulsar los gases producidos durante la combustión al ambiente. El sistema de enfriamiento tiene como objetivo principal refrigerar el motor, el sistema de lubricación se encarga de limpiar y lubricar el motor, y el sistema eléctrico y electrónico controla sus componentes y actuadores (alternador, módulo de control, entre otros).

6.2.2. Sistema de tren de potencia

El sistema tren de potencia o de propulsión, tiene como función principal producir el movimiento de traslación del equipo.

Figura 13. Subconjuntos del sistema de tren de potencia



Fuente propia

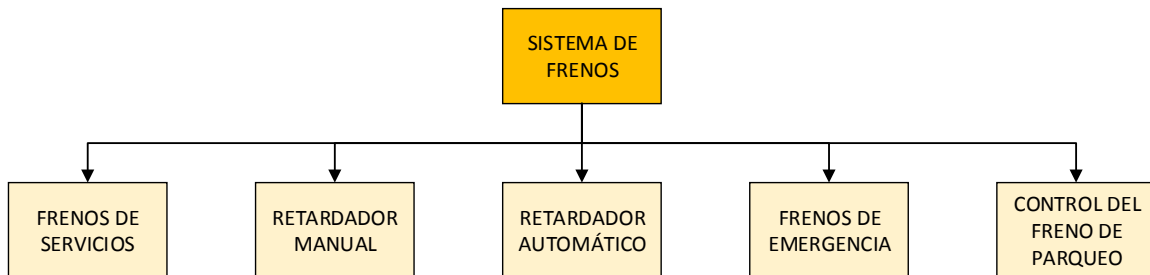
Se compone de un convertidor, que se utiliza para el proceso de arranque. Un eje cardán que absorben la desalineación entre componentes, un diferencial que gradúa la velocidad de las llantas para el giro en diferentes direcciones. Los mandos finales se tienen como función multiplicar el torque generado por el motor, y la transmisión se encarga de regular la potencia, velocidad y la dirección (reversa o frontal).

6.2.3. Sistema de freno

La función principal del sistema de frenos es detener el camión. Tiene seis componentes principales los cuales son: frenos de servicio, retardador manual, retardador automático, frenos de emergencia y control de freno de parqueo.

El freno de servicio o principal, es accionado por el operador cuando este requiere detener la máquina, y el camión circula a menos de 12 kilómetros por hora. El retardador automático se activa cuando el equipo está en bajada, y se encarga de programar la velocidad de frenado de acuerdo al cambio (primera, segunda, etc.).

Figura 14. Sistema de frenos



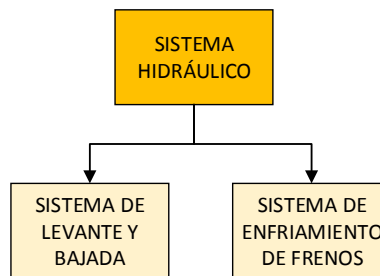
Fuente propia

El retardador manual cumple la misma función que el automático, es usado cuando el operador quiere ir a una velocidad más lenta que la programada. El freno de emergencia, también llamado freno secundario, cumple la misma función que el de servicio, y se usa cuando el principal no funciona adecuadamente. Por último, el freno de parqueo se utiliza para bloquear el camión cuando este es detenido.

6.2.4. Sistema hidráulico

El sistema hidráulico es un conjunto de elementos controlados electrónicamente, y su función principal es levantar y descender la tolva del camión. También está encargado de suministrar aceite al sistema de frenos. Se compone de dos subsistemas los cuales son: sistema de levante y bajada, y sistema de enfriamiento de frenos.

Figura 15. Sistema hidráulico



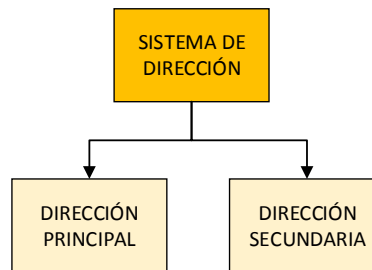
Fuente propia

6.2.5. Sistema de dirección

El camión cuenta con un sistema de dirección axial que emplea fuerza hidráulica para cambiar la dirección de desplazamiento del equipo. Su función principal es permitir hacer giros hacia la derecha o hacia la izquierda hasta un ángulo de 0 a 34° en 6 segundos. El sistema de dirección es completamente hidráulico.

El equipo cuenta con dos direcciones, una dirección principal encargada de girar el camión a la dirección requerida (en operación normal) y una dirección auxiliar (secundaria), que se utiliza en caso de que el equipo este detenido por alguna avería y se requiera girarlo. También se usa en caso de alguna falla en la dirección principal.

Figura 16. Sistema de dirección

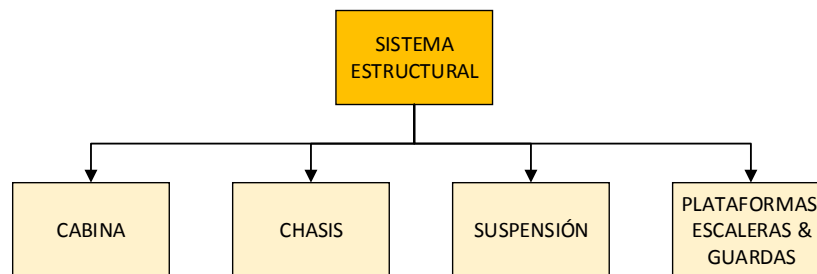


Fuente propia

6.2.6. Sistema estructural

Está conformado por la cabina, las escaleras, plataformas, barandas, chasis, tolva y suspensión. Es la columna vertebral del 777G, contiene todos los elementos que al accionarse, dan movimiento al camión.

Figura 17. Sistema estructural



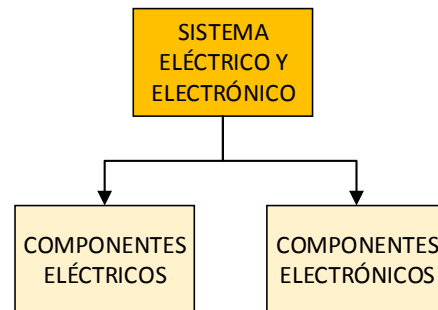
Fuente propia

La suspensión se encarga de absorber las irregularidades del terreno en las diferentes vías en la mina, con el objetivo de aumentar la comodidad, el control del vehículo y evitar desajuste en los componentes. La cabina tiene la función de proteger al operador, las señales y los actuadores de las condiciones del exterior. El chasis o estructura tiene la función de mantener la integridad del equipo y las plataformas, escaleras y guardas permiten al operador y mantenedores acceder al vehículo.

6.2.7. Sistema eléctrico y electrónico

El sistema eléctrico y electrónico se encarga de enviar corriente a los diferentes actuadores y dispositivos electrónicos del equipo. Su función principal es suministrar un voltaje entre 24 a 27 voltios.

Figura 18. Sistema eléctrico y electrónico



Fuente propia

6.3. Análisis de Modos y Efectos de Falla

Para el análisis de modos y efectos de falla, el grupo interdisciplinario se encargó de cumplir el rol de mantenedores y especialistas. Inicialmente se discutió el contexto operacional y los sistemas del equipo previamente descritos. Se revisaron los manuales de máquina, planos de ensamble, hidráulicos, mecánicos y eléctricos (incluyendo los provistos por el Software SISCAT).

Se hizo un listado de las funciones principales de cada sistema, basándose en la información recopilada en las reuniones y en los datos de SISCAT. Luego se establecieron las fallas funcionales asociadas a cada función principal, y se determinaron las maneras posibles en que dicha falla puede darse. Por último, el grupo interdisciplinario valiéndose de su experiencia, de los manuales discutidos, del

funcionamiento del equipo, de las afectaciones a la salud, de aspectos ambientales y de operación elaboró la hoja de decisiones usando el diagrama de decisión.

6.3.1. Modos de Falla del Sistema Motriz

El sistema motriz tiene 59 funciones, sin embargo para este trabajo solamente se analizara su función principal (función 1), la cual es convertir la fuerza de combustión de los cilindros en par giratorio, entregando un torque entre 1710 y 1800 Nm. Se determinó que existen dos fallas que impiden que el camión cumpla con dicha función, las cuales son:

- A) No transmitir un torque de 1710 a 1800 RPM al tren de potencia
- B) Transmitir un torque inferior de 1710 Nm al tren de potencia

Las fallas mencionadas previamente tienen varias causas asociadas. Las cuales se exponen en la Tabla 4 y en la Tabla 5. Puede verse que la falla funcional A (No transmitir un torque de 1710 a 1800 RPM al tren de potencia) tiene 23 modos de falla (Ver Tabla 4) y que la B (Transmitir un torque inferior de 1710 Nm al tren de potencia) tiene 29 (Ver Tabla 5).

Tabla 4 - Falla funcional A del sistema motriz

Ítem	Modo de Falla
1	Combustible agotado
2	Sistema de combustible en falla
3	Sistema eléctrico falla
4	ECM del motor falla
5	Aceite de lubricación del motor no instalado
6	Sistema de admisión y escape falla
7	Volanta del motor fatigada
8	Torque del tornillo de la volanta inadecuado
9	Interruptor de parada de emergencia activado
10	Sensor de velocidad y tiempo primario falla
11	Palanca de cambios activada
12	Interruptor de encendido desgastado
13	Circuito de activación del Starte al ECM de la transmisión falla abierto
14	Relay del circuito de activación del starte al ECM de la transmisión falla abierto
15	Engranaje de sincronización fatigado
16	Cigüeñal y ejes de levas fatigados
17	Mecanismos internos del motor de arranque desgastados
18	Interruptor máster falla abierto
19	Fusible térmico de 15 A de alimentación del ECM del motor falla abierto
20	Breaker de 90 A de alimentación de la máquina falla abierto
21	Fusible de 10 A del interruptor de encendido de la máquina falla abierto
22	Fusible de 15 A de alimentación del ECM de la transmisión falla abierto
23	Relay mainpower falla

Fuente Propia.

Tabla 5 - Falla funcional B del sistema motriz

Ítem	Modo de Falla
1	Filtro de admisión de aire primario sucio
2	Filtro de combustible secundario sucio
3	Filtro de combustible obstruido por objeto extraño
4	Separador de agua del filtro de combustible primario flojo
5	Sensor de presión atmosférico falla
6	Combustible contaminado
7	Bomba de transferencia desgastada
8	Válvula reguladora de presión del sistema de combustible falla abierta
9	Sensor de temperatura de refrigerante falla
10	Sensor de presión de refuerzo falla
11	Pos-enfriador obstruido
12	Empaque del múltiple de escape cristalizado
13	Abrazadera de la carcasa caliente sueltas
14	Sensor de presión de combustible sucio
15	Inyector del sistema de combustible falla
16	Sellos de montaje de los inyectores cristalizados
17	Anillos de compresión fatigados
18	Anillos de compresión y camisas desgastados
19	Mecanismo de sincronización desgastados
20	Sensor de temperatura de combustible falla
21	Pistones y camisas desgastados
22	Empaque de culata fragilizado
23	Culata del motor fatigada
24	Sensor de posición del acelerador des-calibrado por debajo del 20%
25	Circuito del sensor de posición del acelerador con corto circuito a tierra
26	Circuito del sensor de posición del acelerador abierto
27	Conexiones del circuito del sensor de posición del acelerador sulfatadas
28	Piñones de sincronización desgastados
29	cigüeñal y ejes de levas desgastados

Fuente Propia.

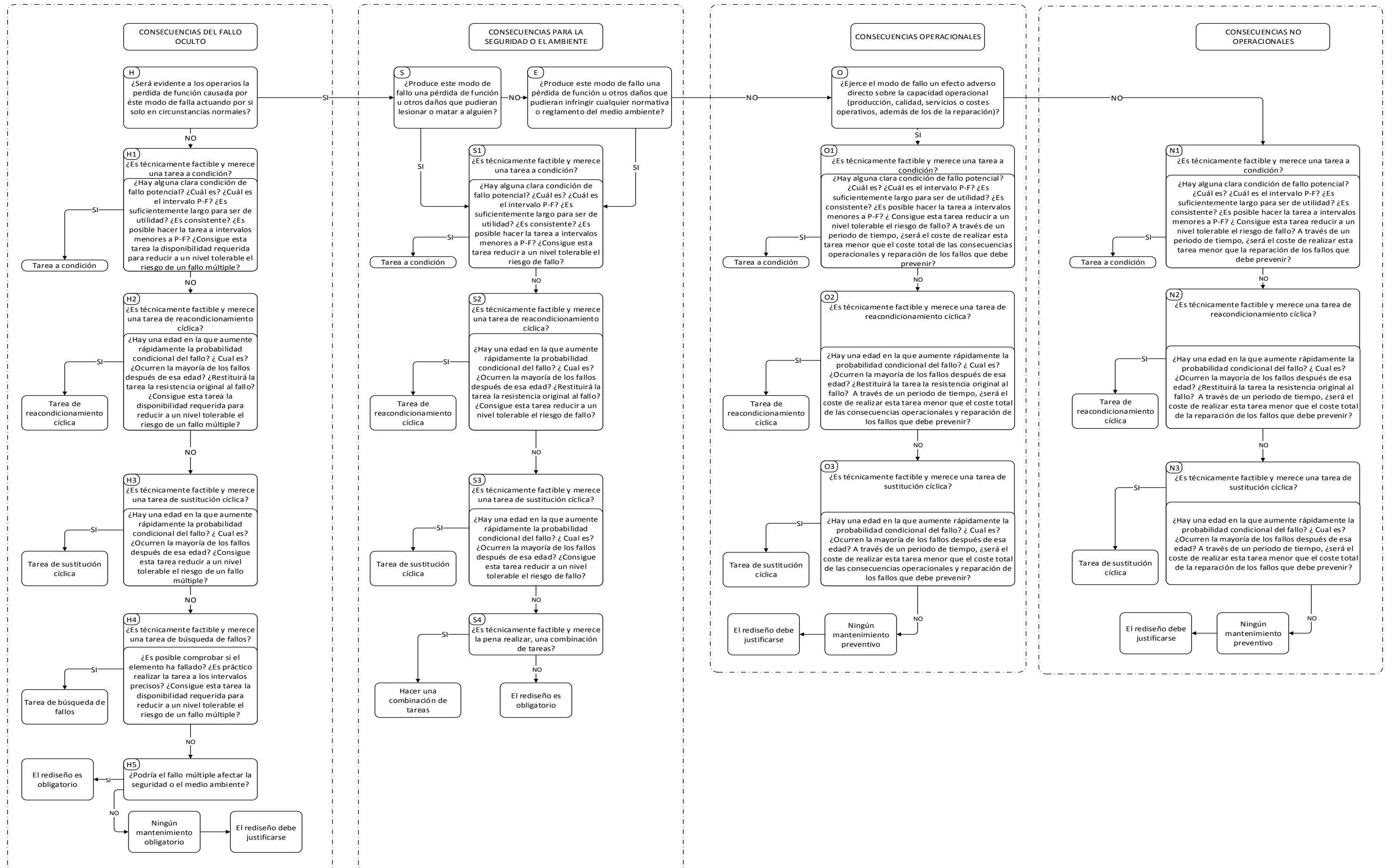
Es importante destacar que cada modo de falla asociado a cada falla funcional tiene un efecto y una consecuencia, como son 23 modos de falla asociados a la falla funcional A, se tienen 23 efectos y consecuencias, igualmente para la falla funcional B.

El efecto y la consecuencia son aspectos que determinan las afectaciones a la salud, al ambiente y a la operación, y son examinados en el diagrama y hoja de decisión, con el propósito de determinar las acciones a tomar para prevenir la ocurrencia de la falla.

6.3.2. Análisis de Modos de Falla y de Decisión del sistema Motriz

Después de especificar todos los modos de falla y sus efectos y consecuencias, se hizo uso del diagrama y hoja de decisión propuestos por la metodología RCM, y por el autor Jhon Moubray (Ver Figura 19).

Figura 19. Diagrama de decisión



El diagrama de decisión propone cuatro tipos de consecuencias (ver títulos de la Figura 19), las cuales son de fallo oculto (y ocurre cuando la falla no es evidente para el operador), de seguridad y ambiente (las cuales impactan en el medio ambiente o afectan la salud del operador o las personas), operacionales (las cuales afectan la producción o costos de la compañía) y no operacionales (las cuales no tienen efectos sobre la salud, ambiente, compañía pero deben controlarse).

Las preguntas que plantea el diagrama de decisión, mostradas en la Tabla 6, solo pueden responderse con sí o con no. Dependiendo de la respuesta que se dé, el diagrama propone más preguntas hasta encontrar la acción a tomar. La Tabla 6 muestra la nomenclatura del diagrama de decisión.

Tabla 6 - Nomenclatura del diagrama de decisión

Nomenclatura	Tipo de consecuencia	Significado o pregunta que plantea
H	Falla oculta	¿Será evidente a los operarios la pérdida de función causada por éste modo de falla actuando por si solo en circunstancias normales?
S	Seguridad	¿Produce este modo de fallo una pérdida de función u otros daños que pudieran lesionar o matar a alguien?
E	Ambiental	¿Produce este modo de fallo una pérdida de función u otros daños que pudieran infringir cualquier normativa o reglamento del medio ambiente?
O	Operacional	¿Ejerce el modo de fallo un efecto adverso directo sobre la capacidad operacional (producción, calidad, servicios o costes operativos, además de los de la reparación)?
H1	Falla oculta	¿Es técnicamente factible y merece una tarea a condición?
H2	Falla oculta	¿Es técnicamente factible y merece una tarea de reacondicionamiento cíclica?
H3	Falla oculta	¿Es técnicamente factible y merece una tarea de sustitución cíclica?
H4	Falla oculta	¿Es técnicamente factible y merece una tarea de búsqueda de fallos?
H5	Falla oculta	¿Podría el fallo múltiple afectar la seguridad o el medio ambiente?
S1	Seguridad y ambiente	¿Es técnicamente factible y merece una tarea a condición?
S2	Seguridad y ambiente	¿Es técnicamente factible y merece una tarea de reacondicionamiento cíclica?
S3	Seguridad y ambiente	¿Es técnicamente factible y merece una tarea de sustitución cíclica?
S4	Seguridad y ambiente	¿Es técnicamente factible y merece la pena realizar, una combinación de tareas?
O1	Operacional	¿Es técnicamente factible y merece una tarea a condición?
O2	Operacional	¿Es técnicamente factible y merece una tarea de reacondicionamiento cíclica?
O3	Operacional	¿Es técnicamente factible y merece una tarea de sustitución cíclica?
N1	No operacional	¿Es técnicamente factible y merece una tarea a condición?
N2	No operacional	¿Es técnicamente factible y merece una tarea de reacondicionamiento cíclica?
N3	No operacional	¿Es técnicamente factible y merece una tarea de sustitución cíclica?

Moubray, J. (2004). *Reliability-Centred Maintenance (RCM)*. (Edwards Brothers, Ed.) (3rd ed.). Asheville: Aladon LLC.

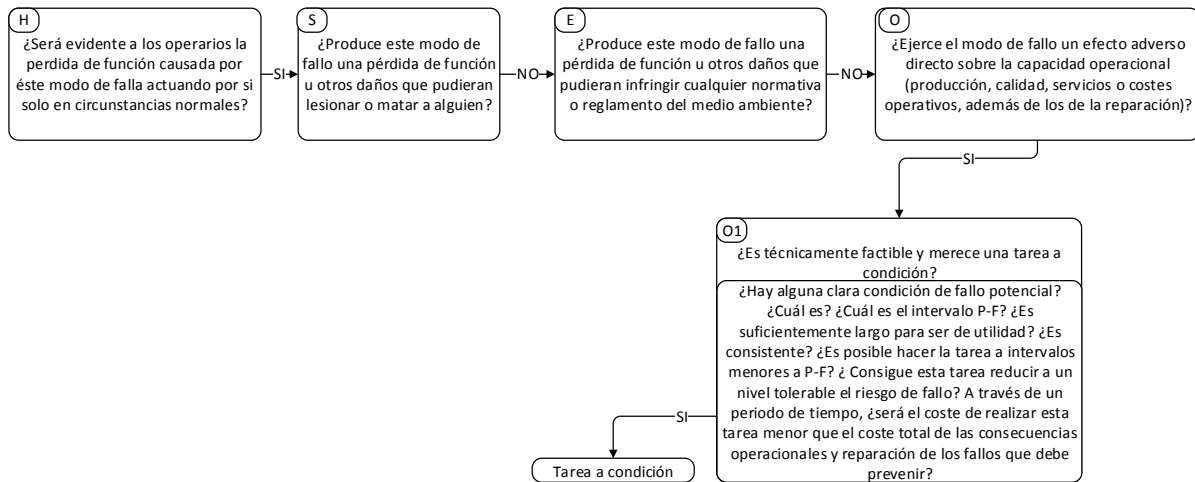
En el presente trabajo se detallará como se hizo el análisis del ítem 1 de la Tabla 4 (donde “No transmitir un torque de 1710 a 1800 RPM al tren de potencia” es la falla funcional y “Combustible agotado” es el modo de falla). De la misma forma se explicará el ítem 1 de la Tabla 5 (donde “Transmitir un torque inferior de 1710 Nm al tren de potencia” es la falla funcional y “Filtro de admisión de aire primario sucio” es el modo de falla).

La Tabla 7 muestra el efecto y la consecuencia asociados al modo de falla 1 de la falla funcional del sistema motriz (Ver Tabla 4). Se mostrará cómo se utilizó el diagrama de decisión para determinar la acción a seguir con el objetivo de prevenir la falla.

Tabla 7 - Efecto y consecuencia del modo de falla 1 de la falla funcional A

Falla funcional	Modo de Falla	Efectos y consecuencias de la Falla
Transmitir un torque inferior de 1710 Nm al tren de potencia	Combustible agotado	Si el nivel de combustible se baja a 5% de su capacidad, el equipo emite un aviso de bajo nivel de combustible y la aguja del indicador se ubica en la zona roja del advisor. Si no se suministra a tiempo, se incrementa su temperatura, y cuando sea igual a 107 °C se emite una alarma de alta temperatura de combustible y el motor se apaga. El tiempo para suministrar combustible, si no se cuenta con un carro-servicio, puede tardar hasta dos horas, ya que se debe desairar el sistema y dar arranque a la máquina.

Figura 20. Ruta de decisión del modo de falla 1 de la falla funcional A



Moubray, J. (2004). *Reliability-Centred Maintenance (RCM)*. (Edwards Brothers, Ed.) (3rd ed.). Asheville: Aladon LLC.

Para encontrar la acción a tomar del modo de falla en consideración, deben responderse las preguntas que se plantean en el diagrama de decisión conforme se vaya avanzando en él. Las preguntas que se plantean a continuación, se hicieron con base en la Figura 19, por su parte, la Figura 20, muestra la ruta o el resultado que se obtuvo al responder las preguntas planteadas por el diagrama de decisión.

La primera pregunta que se plantea es la **H** y dice: ¿Será evidente a los operarios la pérdida de función causada por éste modo de falla actuando por sí solo en circunstancias normales? La respuesta es **sí**, ya que como se aprecia en los efectos y consecuencias mencionados en la Tabla 7, el equipo emite un aviso de bajo nivel de combustible, y si no se suministra a tiempo el camión se apaga. El operador claramente se da cuenta que el equipo falló.

Como se respondió **sí** anteriormente, el diagrama plantea la pregunta **S** ¿Produce este modo de fallo una pérdida de función u otros daños que pudieran lesionar o matar a

alguien? La respuesta es **no**, ya que lo máximo que puede ocurrir es que el equipo se apague, lo cual no representa riesgos para el personal que lo opera.

Como se respondió no anteriormente, el diagrama plantea la pregunta **E** ¿Produce este modo de fallo una pérdida de función u otros daños que pudieran infringir cualquier normativa o reglamento del medio ambiente? La respuesta es **no**, por la misma razón anterior.

Como se respondió no previamente, el diagrama plantea la pregunta **O** ¿Ejerce el modo de fallo un efecto adverso directo sobre la capacidad operacional (producción, calidad, servicios o costes operativos, además de los de la reparación)? La respuesta es **sí**, ya que si no hay disponibilidad de carro-servicio, se requerirían dos horas para desairar el sistema y llenar el camión con combustible para darle arranque, lo cual afectaría directamente en la producción, debido a que se dejaría de mover mineral durante un tiempo considerable.

Como se respondió si previamente, el diagrama plantea la pregunta **O1** ¿Es técnicamente factible y merece una tarea a condición? La respuesta es **sí**, ya que debe monitorearse el nivel de combustible del equipo para evitar que se apague y deje de mover mineral.

Finalmente, la acción a tomar que determinó el grupo interdisciplinario fue la siguiente: Revisar el nivel del combustible en el indicador del panel de instrumentos, si el nivel esta igual o por debajo de un 30%, solicitar suministro de combustible a base.

Lo anterior puede resumirse utilizando una tabla donde se pueda identificar cual es la función que se está analizando, su falla funcional, el modo de falla asociado y la ruta

de decisión. Se analizó el modo de falla 1 (Combustible agotado) de la falla funcional A (Transmitir un torque inferior de 1710 Nm al tren de potencia) de la función 1 del sistema motriz, la cual es: Convertir la fuerza de combustión de los cilindros en par giratorio, entregando un torque entre 1710 y 1800 Nm (Ver Tabla 8).

Tabla 8 - Identificación de modos de falla en hoja de decisión

Referencia de información	Nomenclatura	Descripción	Identificador
Función	F	Convertir la fuerza de combustión de los cilindros en par giratorio, entregando un torque entre 1710 y 1800 Nm	1
Falla funcional	FF	Transmitir un torque inferior de 1710 Nm al tren de potencia	A
Modo de falla	FM	Combustible agotado	1

La ruta de decisión puede mostrarse mejor, poniendo las respuestas que se dieron a cada una de las preguntas que planteó el diagrama de decisión, S para sí y N para no, tal como se muestra en la Tabla 9. Si se pone una **S** debajo de columna H correspondiente a “Evaluación de consecuencias” en la

El lector puede notar que después de la octava columna de la Tabla 9, las columnas siguientes están vacías, esto es debido a que se concluyó una tarea a condición, y no se plantean más preguntas en el diagrama.

Tabla 9, quiere decir que se respondió sí a la pregunta **H** del diagrama de decisión. A la tabla en consideración se le denomina hoja de decisión, y es básicamente un resumen del análisis de modos y efectos de falla.

El lector puede notar que después de la octava columna de la Tabla 9, las columnas siguientes están vacías, esto es debido a que se concluyó una tarea a condición, y no se plantean más preguntas en el diagrama.

Tabla 9 - Ruta de decisión en hoja de decisión A

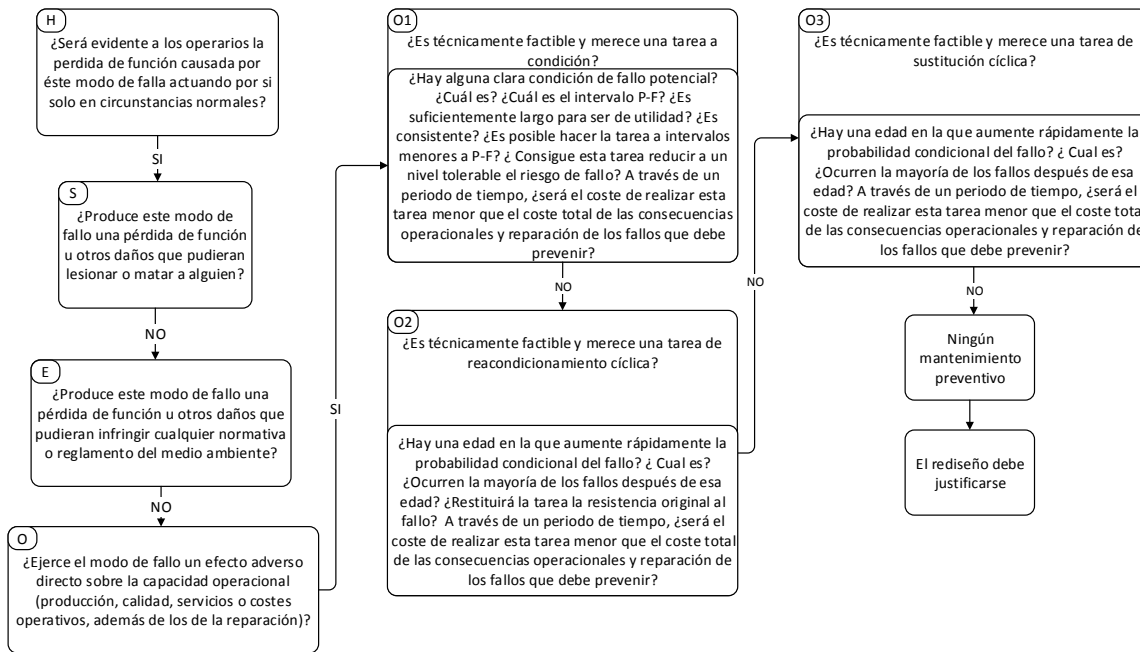
Referencia de información			Evaluación de consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Tareas a falta de			Tarea a realizar
F	FF	FM	H	S	O	N				H4	H5	S4	
1	A	1	S	N	N	S	S						Revisar el nivel del combustible en el indicador del panel de instrumentos, si el nivel esta igual o por debajo de un 30%, solicitar suministro de combustible a base.

La Tabla 10 muestra el efecto y la consecuencia asociados al modo de falla B de la falla funcional 2 del sistema motriz (Ver Tabla 5). Se aplicará la misma lógica que se utilizó en el modo de falla anterior, para determinar la acción que previene la ocurrencia de la falla funcional.

Tabla 10 - Efecto y consecuencia del modo de falla 1 de la falla funcional B

Falla funcional	Modo de Falla	Efectos y consecuencias de la Falla
Transmitir un torque inferior de 1710 Nm al tren de potencia	Filtro de admisión de aire primario sucio	La polución, la tierra, entre otras condiciones van tapando el filtro de admisión de aire, lo cual disminuye el ingreso de aire de admisión al sistema de combustión, la relación aire combustible se reduce y el motor pierde potencia y entrega un torque inferior a 1710 Nm. Cuando la obstrucción del filtro es igual al 14,87 pulgadas de agua de la capacidad de filtrado, se genera una alarma de nivel 1 en el panel de instrumentos y en el advisor, enviando un mensaje que dice "restricción de filtro de admisión". El equipo no alcanza la velocidad requerida. Si la restricción sigue incrementando se genera una alarma de nivel 3 cuando el porcentaje de obstrucción es 30,54 pulgadas de agua. Se registra un evento en advisor de "Baja presión de entrada de aire de admisión". Esto genera silicio contaminando en el aceite del motor. El tiempo para diagnosticar, cambiar el filtro de admisión y colocar en funcionamiento es 2 horas.

Figura 21. Ruta de decisión del modo de falla 1 de la falla funcional B



Moubray, J. (2004). *Reliability-Centred Maintenance (RCM)*. (Edwards Brothers, Ed.) (3rd ed.). Asheville:

Aladon LLC.

Como puede verse en la Figura 21, el diagrama de decisión indica que no debe realizarse ningún mantenimiento preventivo, lo cual claramente no previene la falla. En esos casos debe contarse con un componente de repuesto para reemplazar el que le impide al equipo cumplir con su función, y que está asociado al modo de falla estudiado. Lo anterior es muy importante a la hora de determinar el inventario a tener en bodega.

En la

El lector puede notar que después de la octava columna de la Tabla 9, las columnas siguientes están vacías, esto es debido a que se concluyó una tarea a condición, y no se plantean más preguntas en el diagrama.

Tabla 9 y la Tabla 11 puede verse que el identificador para la función es 1 en ambos casos. Es importante destacar que cada función del equipo tiene su identificador, por ejemplo, si se analizan 100 funciones de un determinado equipo, debe haber mínimo 100 identificadores, como solamente se está analizando una función y las fallas funcionales derivan de la misma función, el identificador es el mismo ambas.

Tabla 11 - Ruta de decisión en hoja de decisión B

Referencia de información			Evaluación de consecuencias				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Tareas a falta de			Tarea a realizar
F	FF	FM	H	S	O	N	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	S4	
1	B	1	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico

6.3.3. Resultados del análisis AMEF del sistema motriz

El resultado del análisis de modos y efectos de falla es la hoja de decisión, en la cual se tienen todas las tareas preventivas que deben hacerse. Las tareas del sistema motriz se determinaron de la misma forma que las establecidas en los ejemplos anteriores, el procedimiento se repitió 59 veces para el sistema motriz y solamente se analizó la función primaria de dicho sistema, los resultados pueden verse en el Anexo 88.

Las fallas funcionales, modos de falla, efectos y consecuencias de los sistemas restantes, se muestran en los Anexos del 1 al 7, y las hojas de decisión correspondientes pueden verse en los anexos del 9 al 14.

6.3.3.1. Comentarios del análisis AMEF

Es importante recordar que solamente se hizo el análisis para la función principal del sistema motriz (de igual forma, en los otros sistemas solamente se muestran las funciones principales). El sistema motriz como tal, tiene 59 funciones, entre primaria (la más importante) y secundarias (las cuales se derivan de la primaria). La Tabla 12 muestra la cantidad de funciones de todos los sistemas estudiados.

Tabla 12 - Funciones del camión

Sistema	# Funciones
Motriz	59
Potencia	60
Freno	22
Hidráulico	18
Dirección	22
Estructural	23
Eléctrico y electrónico	16

El análisis AMEF y de decisión debe hacerse para todas las funciones de todos los sistemas. Cada función tiene varias fallas funcionales asociadas, por ejemplo para el sistema motriz la función primaria tiene dos fallas funcionales, las cuales son: No transmitir un torque de 1710 a 1800 RPM al tren de potencia y transmitir un torque inferior de 1710 Nm al tren de potencia. Asimismo, cada falla funcional tiene varios modos de falla.

Tabla 13 - Fallas funcionales de la función principal del sistema motriz

Falla funcional	Identificador	# Modos de falla
No transmitir un torque de 1710 a 1800 RPM al tren de potencia	A	23
Transmitir un torque inferior de 1710 Nm al tren de potencia.	B	29

6.3.4. Resultados del análisis AMEF del sistema de tren de potencia

Ver Anexo 9 - Hoja de decisión del sistema de tren de potencia.

6.3.5. Resultados del análisis AMEF del sistema de freno

Ver Anexo 10 - Hoja de decisión del sistema de freno.

6.3.6. Resultados del análisis AMEF del sistema hidráulico

Ver Anexo 11 - Hoja de decisión del sistema hidráulico.

6.3.7. Resultados del análisis AMEF del sistema de dirección

Ver Anexo 12 - Hoja de decisión del sistema de dirección.

6.3.8. Resultados del análisis AMEF del sistema estructural

Ver Anexo 13 - Hoja de decisión del sistema estructural.

6.3.9. Resultados del análisis AMEF del sistema eléctrico y electrónico

Ver Anexo 14 - Hoja de decisión del sistema eléctrico y electrónico.

6.4. Listado de tareas

Luego de hallar todas las acciones a tomar utilizando el diagrama de decisión, y después de consignarse en la hoja de decisión, se hizo un listado de tareas periódicas y no periódicas. Las no periódicas son aquellas que resultan cuando la decisión es: “No hacer ningún mantenimiento preventivo” y son la base para determinar el inventario de repuestos.

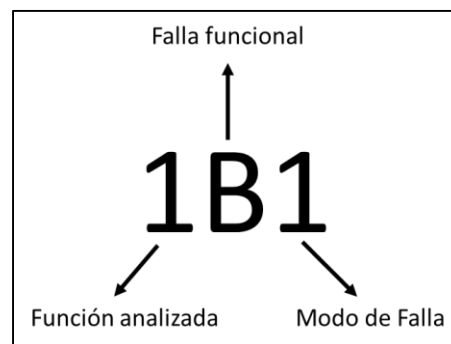
Las tareas periódicas son las tareas que implican mantener un componente, con el propósito de que éste pueda cumplir con su función, y se caracterizan por realizarse una determinada frecuencia.

6.4.1. Listado de tareas no periódicas

La hoja de decisiones y el análisis de decisión ayudaron a establecer las medidas a tener en cuenta con el objetivo de prevenir las fallas. En la Tabla 11, puede verse que la acción a tomar cuando el filtro de admisión de aire primario está sucio, es no hacer ningún mantenimiento preventivo. Se había dicho que en esos casos, debe disponerse del componente que le impide al equipo realizar la función afectada por dicho modo de falla.

La Tabla 14 muestra algunas de las tareas que no requieren ningún mantenimiento periódico del sistema motriz, el listado completo puede verse en el Anexo 15. En la tabla se muestra que cada ítem tiene una nomenclatura particular, la cual indica la función analizada, la falla funcional y su modo de falla asociado. Por ejemplo, el ítem 1B1 hace referencia a la función 1 del sistema motriz (la cual es convertir la fuerza de combustión de los cilindros en par giratorio, entregando un par giratorio entre 1700 y 1800 Nm), a la falla funcional B de la función 1 del sistema motriz (Transmitir un torque inferior de 1710 Nm al tren de potencia), y al modo de falla 1 de la falla funcional B (Filtro de admisión de aire primario sucio).

Figura 22. Nomenclatura de las tareas a realizar



Fuente propia.

Tabla 14 - Tareas no periódicas del sistema motriz

Ítem	Tarea a realizar	Componente	Tipo de tarea
1A10	Ningún mantenimiento periódico	Sensor de velocidad y tiempo primario V1	Inventarios
1A12	Ningún mantenimiento periódico	Interruptor de encendido V1	Inventarios
1A15	Ningún mantenimiento periódico	Motor diesel, cambio	Inventarios
1A16	Ningún mantenimiento periódico	Motor de arranque V1	Inventarios
1A17	Ningún mantenimiento periódico	Interruptor máster V1	Inventarios
1A18	Ningún mantenimiento periódico	Fusible de 15 A V1	Inventarios
1A19	Ningún mantenimiento periódico	Breaker de 90 A V1	Inventarios
1A20	Ningún mantenimiento periódico	Fusible de 10 A V1	Inventarios
1A21	Ningún mantenimiento periódico	Fusible de 15 A V1	Inventarios
1A22	Ningún mantenimiento periódico	Relay mainpower V1	Inventarios
1B1	Ningún mantenimiento periódico	Filtro de admisión de aire secundario	Inventarios
1B2	Ningún mantenimiento periódico	Sello del separador de agua de combustible.	Inventarios

Fuente propia.

El tipo de tarea correspondiente a la columna cuatro de la Tabla 14, indica clase de actividad que debe realizarse. Por ejemplo, una tarea del tipo inventarios, significa que debe tenerse siempre disponible en bodega el componente asociado al modo de falla estudiado. Existe otro tipo de tarea, la cual es rediseño. El rediseño indica que debe replantearse el procedimiento o la tarea periódica que se esté realizando actualmente.

6.4.2. Listado de tareas periódicas

La Tabla 15 muestra algunas de las tareas periódicas del sistema motriz y estructural. El lector puede notar que algunas de ellas son tareas de inventarios, pero difieren un poco respecto a las de la Tabla 14, ya que aunque el componente debe

permanecer en bodega, solamente se cambia cuando su estado le impide ser reacondicionado o reparado. Las tareas se hallaron usando el diagrama de decisión.

Tabla 15 - Tareas periódicas del sistema motriz y estructural

Ítem	Tarea a realizar	Frecuencia	A realizar por	Sistema / Componente	Tipo de tarea
1A1	Revisar el nivel de combustible en el indicador del panel de instrumentos, si el nivel está igual o por debajo de un 30% solicitar suministro de combustible a base	Cada inicio de turno	Operador de camión	Sistema motriz	
1A9	Rediseño: Hacer reentrenamiento para sensibilizar los operadores sobre el uso del interruptor de apagado de emergencia, sólo debe ser usado cuando existe una situación anormal o subestandar.		Ingeniero de confiabilidad	Sistema motriz	Rediseños
1A1	Medir el juego entre el pin y el buje de la barra estabilizadora, debe estar en 5 mm, si es 5 programar cambio.	2000 horas	Mecánico	Sistema estructural / Barra estabilizadora	Inventarios
1A2	Medir el juego entre el pin y el buje de la barra estabilizadora, debe estar en 2 mm, si es 5 programar cambio.	2000 horas	Mecánico	Sistema estructural / Barra estabilizadora	Inventarios
1A3	Medir el juego entre la barra estabilizadora y el pin de la barra, debe estar en 2 mm, si es 5 mm programar cambio de rótula.	1000 horas.	Mecánico	Sistema estructural / Rótula de la barra estabilizadora	Inventarios

Fuente propia.

La tercera columna de la Tabla 15 muestra la frecuencia o periodicidad con que debe hacerse cada tarea de mantenimiento. Por ejemplo, la tarea 1A1 debe hacerse cada vez que el equipo opere 2000 horas. Es importante destacar, que no todas las tareas requieren periodicidad, ya que algunas dependen del estado del componente y se realizan de acuerdo a la condición del mismo.

Las tareas periódicas permiten conformar las rutinas de mantenimiento. Las tablas de la 1 a la 20 muestran todas aquellas que tienen frecuencia de realización, clasificadas

por sistemas. Dichas tareas se determinaron utilizando la lógica del diagrama de decisión detallada en párrafos anteriores.

Tabla 16 - Tareas periódicas del sistema eléctrico y electrónico

Modo de Falla	Tarea a realizar	Frecuencia	A realizar por	Tiempo (horas)
1A7	Hacer inspección visual de la superficie de correa del alternador, si la encuentra agrietada cambiar de inmediato.	500 horas	Electricista	8
1B4	Medir la deflexión de la correa con debe una comba entre 14 a 20 mm bajo una fuerza de 90 lb p, si baja más de 20 tensionar la correa.	500 horas	Mecánico	8

Fuente propia.

Tabla 17 - Tareas periódicas del sistema motriz

Modo de Falla	Tarea a realizar	Frecuencia	A realizar por	Tiempo (horas)
1A23	Limpiar el filtro de admisión de aire primario con 30 psi aire comprimido y cambiar cuando cumpla las 3000 horas	500 horas	Lubricador	8
1B6	Inspeccionar si el testigo de daño de bomba de combustible está activada, si lo está cambiar la bomba de inmediato.	1000 horas	Mecánico	16
1B17	Hacer análisis de aceite del motor para buscar desgaste de componentes.	500 horas	Lubricador	48
1B20	Hacer análisis de aceite del motor para buscar desgaste de componentes.	500 horas	Lubricador	8
1B28	Hacer análisis de aceite del motor para buscar desgaste de componentes.	500 horas	Lubricador	48

Fuente propia.

Tabla 18 - Tareas periódicas del sistema de freno

Modo de Falla	Tarea a realizar	Frecuencia	A realizar por	Tiempo (horas)
1A4	Hacer analisis de aceite de los frenos, si encuentra 50 ppm de 50, revisar presión de la bomba de frenos y programar cambio si está un 20% por debajo del valor trabajo.	500 horas	Lubricador	12

Fuente propia.

Tabla 19 - Tareas periódicas del sistema hidráulico

Modo de Falla	Tarea a realizar	Frecuencia	A realizar por	Tiempo (horas)
1B1	Hacer análisis de aceite hidráulico de levante y evaluar las ppm que muestran el desgaste de componentes, cuando el valor de Cu >17 ppm, Fe >09 ppm, Cr >2 ppm, Al >3 ppm, Pb > 2 ppm, Si >40 ppm, % de H2O > 0,5 ppm cambiar aceite, volver a tomar muestra y evaluar caudal y presión de la bomba de levante y bomba de frenos y revisar hermeticidad del sistema para evitar entrada de Si y H2O y eficiencia de válvula de control de levante	500 horas	Lubricador	8
1B2	Hacer análisis de aceite hidráulico de levante y evaluar la degradación de los aditivos del aceite, cuando el valor viscosidad este por fuera de 6,3 cSt, oxidación > 25, programar cambio de aceite hidráulico y cambio de filtro hidráulico, y hacer nueva toma de muestra.	500 horas	Lubricador	12

Fuente propia.

Tabla 20 - Tareas periódicas del sistema de tren de potencia

Modo de Falla	Tarea a realizar	Frecuencia	A realizar por	Tiempo (horas)
1A3	Hacer análisis de aceite de la transmisión para revisar desgaste de la bomba de carga del convertidor.	500 horas	Lubricador	16
1A18	Hacer análisis de aceite de la transmisión para revisar desgaste de la bomba de carga de la transmisión.	500 horas	Lubricador	16
1A20	Hacer análisis de aceite de la transmisión para revisar desgaste de componentes internos.	500 horas	lubricador	40
1A21	Hacer análisis de aceite de la transmisión para revisar la contaminación.	500 horas	Lubricador	40
1A29	Hacer análisis de aceite de las ruedas delanteras, verificar tendencia de desgaste.	500 horas	Lubricador	10
1A30	Hacer análisis de aceite de las ruedas delanteras, verificar estado del aceite.	500 horas	lubricador	20
1A31	Hacer análisis de aceite de las ruedas delanteras, verificar estado del aceite.	500 horas	lubricador	20
1A32	Hacer análisis de aceite de las ruedas delanteras, verificar estado del aceite.	500 horas	lubricador	20
1A36	Hacer análisis de vibraciones a los rodamientos de los ejes de transmisión.	1000 horas	SKF	360
1A37	Hacer análisis de aceite del diferencial y mandos finales.	500 horas	Lubricador	240
1A38	Hacer análisis de aceite del diferencial y mandos finales.	500 horas	Lubricador	240
1A40	Hacer análisis de aceite del diferencial y mandos finales.	500 horas	Lubricador	240
1A41	Hacer análisis de aceite del diferencial y mandos finales.	500 horas	Lubricador	240
1A42	Hacer análisis de aceite del diferencial y mandos finales.	500 horas	Lubricador	240
1A43	Hacer análisis de aceite del diferencial y mandos finales.	500 horas	Lubricador	240

Fuente propia.

Tabla 21 - Tareas periódicas del sistema de dirección

Modo de Falla	Tarea a realizar	Frecuencia	A realizar por	Tiempo (horas)
1B1	Hacer análisis de aceite de la dirección y evaluar las ppm, cuando el valor de Cu >4 ppm, Fe >10 ppm, Cr >2 ppm, Al >10 ppm, Pb > 2 ppm, Si >18 ppm, % de H ₂ O > 0,5 ppm cambiar aceite, volver a tomar muestra y evaluar caudal y presión de la bomba de dirección principal y revisar hermeticidad del sistema para evitar entrada de Si y H ₂ O y Eficiencia de válvula de control de dirección	500 horas	Lubricador	12

Fuente propia.

Tabla 22 - Tareas periódicas del sistema estructural

Modo de Falla	Tarea a realizar	Frecuencia	A realizar por	Tiempo (horas)
1A1	Medir el juego entre el pin y el buje de la barra estabilizadora y dependiendo de su estado programar cambio de la barra.	2000 horas	Mecánico	64
1A2	Medir el juego entre el pin y el buje de la barra estabilizadora y dependiendo de su estado programar cambio de la barra.	2000 horas	Mecánico	80
1A3	Medir el juego entre el pin y el buje de la barra estabilizadora y dependiendo de su estado programar cambio de rotula.	1000 horas	Mecánico	16
3A5	Inspeccionar aparición de grietas en la superficie de la cubierta de los cilindros de suspensión trasera, si hay grietas programar cambio	500 horas	Mecánico	24

Fuente propia.

6.5. Determinación de las rutinas de mantenimiento

Después de determinar las tareas periódicas y su frecuencia, se conformaron las rutinas de mantenimiento. Lo anterior se hizo agrupando todas las actividades listadas en las Tablas de la 15 a la 22 por periodicidad. Es decir, se agruparon todas las tareas de 500 horas, 1000 horas, 1500 horas, hasta 4000 horas, tal como se muestra en la Tabla 23. Con ello se crearon ocho rutinas de mantenimiento preventivo (rutinas de PM).

Tabla 23 - Tareas periódicas de mantenimiento asociadas a rutinas de mantenimiento

Rutina	Tarea #	Descripción de la tarea
500 h	1	Hacer inspección visual de la superficie de correa del alternador, si la encuentra agrietada cambiar de inmediato.
500 h	2	Medir la deflexión de la correa con debe una comba entre 14 a 20 mm bajo una fuerza de 90 lb p, si baja más de 20 tensionar la correa.
500 h	3	Limpiar el filtro de admisión de aire primario con 30 psi aire comprimido y cambiar cuando cumpla las 3000 horas
1000 h	1	Inspeccionar si el testigo de daño de bomba de combustible está activada, si lo está cambiar la bomba de inmediato.
1000 h	2	Hacer análisis de aceite del motor para buscar desgaste de componentes.
1000 h	3	Hacer análisis de aceite de los frenos, si encuentra 50 ppm de 50, revisar presión de la bomba de frenos y programar cambio si está un 20% por debajo del valor trabajo.
1000 h	4	Hacer análisis de aceite hidráulico de levante y evaluar las ppm que muestran el desgaste de componentes, cuando el valor de Cu >17 ppm, Fe >09 ppm, Cr >2 ppm, Al >3 ppm, Pb > 2 ppm, Si >40 ppm, % de H2O > 0,5 ppm cambiar aceite, volver a tomar muestra y evaluar caudal y presión de la bomba de levante y bomba de frenos y revisar hermeticidad del sistema para evitar entrada de Si y H2O y eficiencia de válvula de control de levante
1500 h	1	Hacer análisis de aceite hidráulico de levante y evaluar la degradación de los aditivos del aceite, cuando el valor viscosidad este por fuera de 6,3 cSt, oxidación > 25, programar cambio de aceite hidráulico y cambio de filtro hidráulico, y hacer nueva toma de muestra.
1500 h	2	Hacer análisis de aceite de la transmisión para revisar desgaste de la bomba de carga de la transmisión.
2000 h	1	Hacer análisis de aceite de la transmisión para revisar desgaste de componentes internos.
2000 h	2	Hacer análisis de aceite de la transmisión para revisar la contaminación.
2000 h	3	Hacer análisis de aceite de las ruedas delanteras, verificar tendencia de desgaste.
2000 h	4	Hacer análisis de vibraciones a los rodamientos de los ejes de transmisión.
2500 h	1	Hacer análisis de aceite del diferencial y mandos finales.
3000 h	1	Hacer análisis de aceite de la dirección y evaluar las ppm, cuando el valor de Cu >4 ppm, Fe >10 ppm, Cr >2 ppm, Al >10 ppm, Pb > 2 ppm, Si >18 ppm, % de H2O > 0,5 ppm cambiar aceite, volver a tomar muestra y evaluar caudal y presión de la bomba de dirección principal y revisar hermeticidad del sistema para evitar entrada de Si y H2O y Eficiencia de válvula de control de dirección
3500 h	1	Medir el juego entre el pin y el buje de la barra estabilizadora y dependiendo de su estado programar cambio de la barra.
4000 h	1	Medir el juego entre el pin y el buje de la barra estabilizadora y dependiendo de su estado programar cambio de rotula.
4000 h	2	Inspeccionar aparición de grietas en la superficie de la cubierta de los cilindros de suspensión trasera, si hay grietas programar cambio

Fuente propia

El lector puede identificar que no existen tareas cuya periodicidad sea de 3000, 3500 o 4000 horas, entre otras. Lo anterior se debe a que solamente se analizaron las funciones primarias de cada uno de los sistemas, y, como se había dicho anteriormente, los sistemas tienen más de una función, el sistema motriz por ejemplo tiene 59 funciones entre primaria y secundarias (ver Tabla 12). Sin embargo, los tiempos de duración de las rutinas que se muestran a continuación se basan en el análisis total del equipo, el cual por motivos de confidencialidad de la compañía no se presenta en el presente documento. No obstante, la lógica para hallar todas las actividades es la misma que se utilizó en el literal 6.3.2. del documento.

En la Tabla 23 se muestran algunas de las tareas de mantenimiento de todas las rutinas establecidas. Se listaron ordenadamente las tareas más importantes correspondientes a las rutinas de 500, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500 y 4000 horas. Por ejemplo, todas las tareas cuya frecuencia es de 500 horas corresponden a la rutina de 500 horas. Las rutinas completas pueden verse en el Anexo 23.

6.6. Determinación del inventario de repuestos

El inventario de repuestos se hizo después de tener los listados de tareas de todos los sistemas estudiados. Es decir, una vez se determinaron todas las tareas periódicas y no periódicas, se identificaron todas aquellas que fueran de inventarios, después de eso, se hizo una lista con todos los componentes que se requerían.

La Tabla 24 muestra los componentes de stock del sistema motriz. La cantidad de repuestos se establece de acuerdo a la necesidad de cada compañía, teniendo en cuenta el espacio en la bodega, el tamaño de la flota, los costos de almacenaje y el tiempo en que tarda un componente en llegar a la empresa después de ser comprado. Es labor del planner de mantenimiento, determinar la cantidad de componentes requeridos. Las especificaciones de tareas y la cantidad de repuestos asociados a los demás sistemas pueden verse en los anexos del 15 al 20.

Tabla 24 - Listado de componentes del sistema motriz

Componente	Cantidad
ECM del motor	1
Volanta del motor - PD	1
Sensor de velocidad y tiempo primario V1	5
Interruptor de encendido V1	1
Relay del circuito de activación del Starte al ECM de la transmisión, V1	5
Motor diesel, cambio	1
Interruptor máster V1	1
Fusible de 15 A V1	5
Breaker de 90 A V1	5
Fusible de 10 A V1	5
Fusible de 15 A V1	5
Relay mainpower V1	5
Filtro de admisión de aire primario	10
Filtro de admisión de aire secundario	10

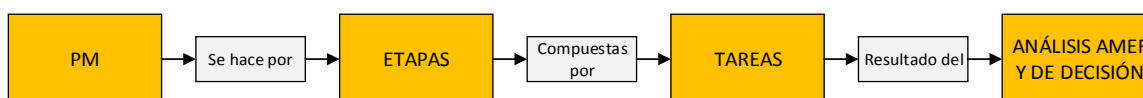
6.7. Estructuración del PM

Luego de determinar las rutinas de mantenimiento, se estableció una meta de duración máxima de 6 horas para cada una de ellas. Es decir, el grupo interdisciplinario basándose en la experiencia adquirida durante los mantenimientos preventivos de los últimos tres años, estableció como meta, que el tiempo de cada PM no debe ser superior a 6 horas. Por otro lado, el tiempo que tarda el PM puede reducirse sumando más técnicos al desarrollo de la actividad. Por ejemplo, si una determinada tarea tarda 10 horas máquina siendo realizada por una sola persona, ese tiempo puede reducirse si se realiza por dos mantenedores (horas hombre).

El PM se dividió en 13 etapas y siguen el orden mostrado en la Tabla 25. Cada una de las tareas que se realizan en las etapas, depende de la rutina que se ejecute. Por ejemplo, la rutina de 500 horas tiene diferentes tareas preventivas mecánicas que la rutina de 2500 horas. Sin embargo, independientemente de cual se haga, todos los PM siguen las mismas etapas, Post-lavado, Predictivo eléctrico, Ingreso del equipo, entre otras.

Cada una de las etapas del PM está conformada por las tareas que se determinaron con el análisis AMEF y de decisión.

Figura 23. Estructuración del PM



Fuente propia.

Tabla 25 - Etapas del PM

Orden	Etapas del PM	Nomenclatura	Descripción
1	Post-lavado	PoL	Lavado general del equipo.
2	Predictivo eléctrico	PdE	Actividades predictivas eléctricas halladas mediante el análisis AMEF y de decisión. Dependen de cada rutina, ya que tienen diferentes frecuencias.
3	Ingreso Camión	IC	Tiempo que tarda el mantenedor en parquear el camión y asegurarlo para el trabajo.
4	Preventivo de Lubricación	PvL	Toma de muestras de aceite para análisis.
5	Preventivo Mecánico	PvM	Actividades preventivas mecánicas halladas mediante el análisis AMEF y de decisión. Dependen de cada rutina, ya que tienen diferentes frecuencias.
6	Preventivo Eléctrico	PvE	Actividades preventivas eléctricas halladas mediante el análisis AMEF y de decisión. Dependen de cada rutina, ya que tienen diferentes frecuencias.
7	Aire Acondicionado	AA	Revisión del sistema de aire acondicionado.
8	Sistema Supresor de Incendios	SSI	Revisión del sistema supresor de incendios.
9	Cabina y estructura Metálica	CM	Revisión del sistema estructural
10	Sistema de engrase central	EC	Revisión del sistema centralizado de engrase
11	Vibraciones	V	Análisis de vibraciones por parte de SKF
12	Ultrasonido	U	Análisis de ultrasonido por parte de SKF
13	Tintas penetrantes	T	Análisis de tintas penetrantes por parte de SKF

Fuente propia.

6.8. Tiempos de duración de las etapas del PM

Luego de estructurar el PM, se asignó un tiempo de duración para cada etapa.

Dicho tiempo depende de las tareas de mantenimiento que se hagan en cada rutina. El

objetivo de asignar un tiempo máximo, es que todos los PM tengan en promedio la misma duración.

La Tabla 26 muestra el tiempo duración que se propuso para cada una de las etapas de PM en cada rutina. La columna con la nomenclatura “HH”, indica las horas hombre que requiere rutina, y la columna con la nomenclatura “PM” indica la duración en horas que tarda cada rutina. Las demás columnas indican el tiempo en minutos (mi) de cada etapa. El tiempo de duración deberá ajustarse durante la puesta en marcha del plan.

El ingeniero de confiabilidad deberá ajustar las tareas halladas en el análisis de decisión y planteadas en las rutinas de mantenimiento, de acuerdo a la distribución mostrada en la Tabla 26. Lo anterior se hace tomando todas las actividades de cada una de las etapas, y verificar que se aproximen a los valores de duración propuestos.

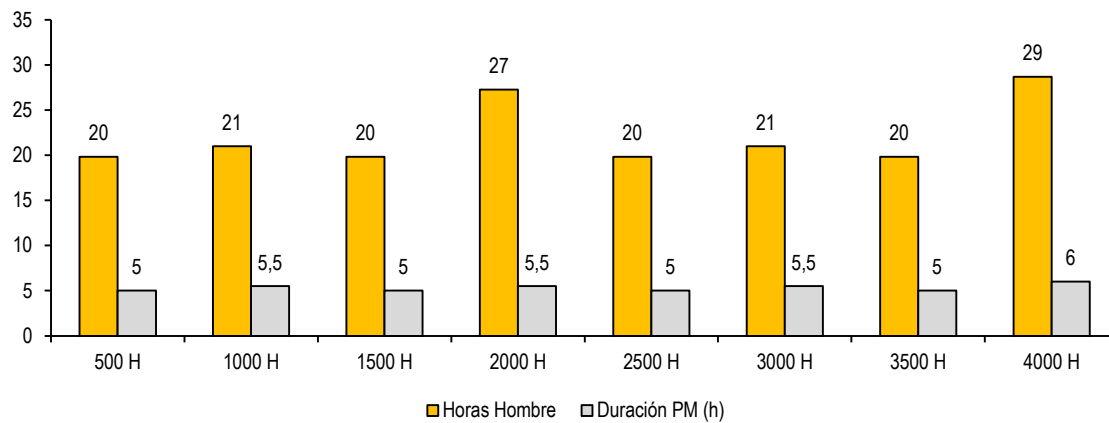
En caso de que la suma total de las tareas halladas difiera mucho de la duración propuesta. Deberán reorganizarse las actividades a fin de que todas las rutinas tarden lo mismo en promedio. Por ejemplo, si el PM de 500 tarda 8 horas, el de 1000 tarda 3 horas y el de 4000 tarda 5 horas, el ingeniero de confiabilidad puede pasar tareas que son del PM de 500 a las rutinas de 1000 y de 4000 buscando nivelar los tiempos de mantenimiento. Sin embargo, las tareas que se pasen, deberán poderse realizar sin que al darse la falla funcional, ésta represente un impacto considerable para el equipo.

Tabla 26 - Actividades de PM (Tiempo de rutinas)

Rutina	PoL (mi)	PdE (mi)	IC (mi)	PvL (mi)	PvM (mi)	PvE (mi)	AA (mi)	SSI (mi)	CM (mi)	EC (mi)	V (mi)	U (mi)	T (mi)	HH (hr)	PM (hr)
500 h	15	80	10	130	140	130	65	120	200	180	120	0	0	20	5
1000 h	15	80	10	130	210	130	65	120	200	180	120	0	0	21	5,5
1500 h	15	80	10	130	140	130	65	120	200	180	120	0	0	20	5
2000 h	15	80	10	145	210	130	65	120	200	180	120	180	180	27	5,5
2500 h	15	80	10	130	140	130	65	120	200	180	120	0	0	20	5
3000 h	15	80	10	130	210	130	65	120	200	180	120	0	0	21	5,5
3500 h	15	80	10	130	140	130	65	120	200	180	120	0	0	20	5
4000 h	15	80	10	175	210	185	65	120	200	180	120	180	180	29	6

La Figura 24 muestra gráficamente la distribución de cargas de cada PM.

Figura 24. Tiempos asociados a las rutinas de mantenimiento



6.9. Control y seguimiento del plan diseñado

Para la aplicación del programa, se proponen acciones de monitoreo basado en condición, formatos unificados, protocolos de mantenimiento, métricas de desempeño, y se sugirieron gráficas para medir la gestión del mantenimiento.

6.9.1. Monitoreo basado en condición

Además del mantenimiento rutinario desarrollado durante el análisis AMEF, se propusieron dos nuevas técnicas de monitoreo basado en condiciones, las cuales son ultrasonido y análisis de vibraciones (la cual resultó del RCM). De igual manera, se debe documentar internamente la información de los análisis de ultrasonido, vibraciones y tintas penetrantes que provee SKF y los resultados del análisis de aceite o S.O.S (toma de muestra de aceite programada) que realiza el proveedor de lubricantes Mobil.

También se propuso llevar un registro de la profundidad de desgaste de las llantas, presiones, temperaturas, juego en las articulaciones, cambios de líquidos y filtros, consumo promedio de combustible y de las revoluciones por minuto de los componentes principales de cada sistema (las medidas pueden tomarse cuando el equipo entre y salga del taller). Debe escribirse criticidad de las fugas, tapones magnéticos y grietas que pueda tener la máquina según se especifique en los protocolos de mantenimiento, así como los comentarios del operador y de los mantenedores.

La información mencionada previamente permitirá visualizar tendencias y tomar acciones dependiendo de los datos obtenidos, su registro debe hacerse usando el formato que se detalla en la Figura 25, Figura 26 y Figura 27. Se propone llevar la información en Excel inicialmente, y luego administrarla mediante una base de datos.

6.9.2. Formato unificado de mantenimiento

Para llevar el registro de la información resultante de los mantenimientos, se propuso usar el formato que se detalla en la Figura 25, Figura 26 y Figura 27. El formato propuesto es importante ya que difiere del anterior (Ver Figura 4), el cual es simplemente una lista de chequeo, y no que permite establecer tendencias de consumo de insumos y avances de falla.

La solución propuesta para los problemas con los formatos, es integrarlos en uno solo, ya que la información queda consolidada en un solo lugar. Además, el orden de los títulos del formato indica la forma en cómo deben realizarse las actividades, lo cual genera más orden al momento de tomar los datos y realizar el PM. Los literales del 1 hasta el 12 del formato propuesto en la Figura 25 corresponden al formato de chequeo que se usa actualmente en Cerro Matoso S.A (similar al de la Figura 4). Se añadieron dos campos nuevos (Encontrado y Final), en los cuales debe ponerse el valor del parámetro medido al inicio de la intervención y al final de ella.

El literal 13 de la Figura 26 corresponde al formato de llantas que se usa actualmente. Por otra parte, ya que los análisis de vibraciones, ultrasonido y de aceite tienen mucha información, en el formato propuesto, solamente se deben poner los comentarios realizados por el ingeniero contratista en los análisis respectivos (literales 15 y 16 de la Figura 26).

Los demás literales del formato propuesto, corresponden a comentarios del operador y del técnico que actualmente se hacen de forma verbal, y, como se dijo previamente, deben escribirse durante los mantenimientos preventivos.

Figura 25. Formato de PM (Página 1)

CHECK LIST PM CAMION 777G TNM			FECHA:	
CODIGO DEL EQUIPO:			HORAS EQUIPO:	
			TIPO MTTO:	
			ORDEN TRABAJO:	
1. MOTOR	Encontrado	Final	5. SISTEMA DIRECCION	
RPM en baja			P. Corte (cut-off) B/B de dirección	Encontrado Final
670 a 710 RPM			3075 ± 102 psi	
RPM en alta			P. Stand by (B/B de direccion)	
1990 a 2010 RPM			290 to 522	
P. Refuerzo Motor Calado			P. V/V Alivio Ppal Dirección Secundaria	
22.8 a 30.9 PSI			2551 ± 102 psi	
RPM Motor Calado			6. TOMA DE MUESTRAS	7. CAMBIOS DE FLUIDOS/FILTROS
1525 a 1655 RPM			<input type="checkbox"/> MOTOR	<input type="checkbox"/> MOTOR
P. Aceite Motor en Baja			<input type="checkbox"/> TRANSMISION	<input type="checkbox"/> XMSN/CONVER
14.5 a 87 PSI			<input type="checkbox"/> HCO LEVANTE	<input type="checkbox"/> HCO LEVANTE
P. Aceite Motor en Alta			<input type="checkbox"/> HCO DIRECCION	<input type="checkbox"/> HCO DIRECCION
39.9 a 87 PSI			<input type="checkbox"/> DIFERENCIAL	<input type="checkbox"/> DIFERENCIAL
P. Combustible Calado			<input type="checkbox"/> MANDOS FINALES	<input type="checkbox"/> MANDOS FINALES
73 a 108 PSI			<input type="checkbox"/> RUEDAS DELANERAS	<input type="checkbox"/> RUEDAS DELANERAS
2. FRENO			<input type="checkbox"/> REFRIGERANTE	<input type="checkbox"/> REFRIGERANTE
TCS			8. FUGAS	
780 PSI			MOTOR	RUEDAS DEL LH RH
P. Liberacion Freno Parqueo			TC	CIL LEVANTE LH RH
730 ± 100 PSI			TRANSMISION	CIL DIRECCION LH RH
P. Freno retardador			DIFERENCIAL	
620 to 820 psi			V/V LEVANTE	1. NO FUGA
P. Freno retardador (Trasero)			MANDO FINAL LH RH	2. HUMEDAD PERMISIBLE
620 to 820 psi			SUPENSION DEL LH RH	3. FUGA PROGRAMAR
P. Freno servicio (Trasero)			SUPENSION TRAS LH RH	4. FUGA ACCION INMEDIATA
880 ± 102 psi			9. TAPONES MAGNETICOS	
P. Freno servicio (Frontal)			POS 1	1 Pasta poca 6 Puas Abunadantes
880 ± 102 psi			POS 2	2 Paste Media 7 Escamas pocas
3. TRANSMISION			POS 3	3 Pasta Abundante 8 Escamas Medias
P. Bomba en bajas RPM			POS 4	4 Puas Pocas 9 Escamas abundantes
375 ± 25 psi				5 Puas Medias
P. Bomba en altas RPM			10. JUEGO EN ARTICULACIONES	
420 ± 20 psi			BARRA DE DIRECCIÓN	LH RH
P. Lubricación en bajas RPM			CIL DIRECCIÓN	LH RH
1to 8 psi			ARM CENTER (PATA DE GALLINA)	1 NOTIENE
P. Lubricación en altas RPM			TRUNNIUN / NOSE CONE	2 TOLERABLE
25 to 40 psi			RÓTULA INF CIL LEVANTE	LH RH 3 EXCESIVO
4. SISTEMA LEVANTE			RÓTULA SUP CIL LEVANTE	LH RH
Tiempo Subida Cil levante en altas RPM			RÓTULA INF SUSPENCIÓN TRAS	LH RH
9 to 11seg.			RÓTULA SUP SUSPENCIÓN TRAS	LH RH
Tiempo Subida Cil de levante en bajas RPM			PIVOTE TOLVA	LH RH
Establecer parametro			ROD CONTROL (HUESO DE PERRO)	
P. Levante en altas RPM				
2750 ± 75 psi				
Comentarios:				

Figura 26. Formato de PM (Página 2)

12. GENERAL

¿SE REALIZÓ PRUEBA DE FRENO FUNCIONAL DEL EQUIPO?

N° BACKLOGS GENERADOS

COMENTARIOS

13. LLANTAS

1

2

5

3

4

6

	SERIE	HORAS	PROF 1	PROF 2	PROM	P. ENT	P. SAL
POSICIÓN 1	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>
POSICIÓN 2	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>
POSICIÓN 3	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>
POSICIÓN 4	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>
POSICIÓN 5	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>
POSICIÓN 6	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>

14. ENTREVISTA CON EL OPERADOR

15. COMENTARIOS INFORME DE SKF

Líder de PM

Supervisor

Grupo de PM

Figura 27. Formato de PM (Página 3)

16. ANÁLISIS DE ACEITE (S.O.S)

ESTADO

17. VIMS

PROBLEMA DE SOBRECARGA

COMENTARIOS

CONSUMO DE COMBUSTIBLE

COMENTARIOS CORRECTIVOS NO PLANEADOS



COMENTARIOS BACKLOGS GENERADOS

6.9.3. Protocolo de mantenimiento

Los protocolos de mantenimiento definen las tareas que deben hacerse por cada actividad de PM. Debido a la complejidad que implica detallar cada una de estas actividades y a la extensión que supone, en este trabajo solamente se propuso el procedimiento para el sistema de tren de potencia. Los otros sistemas deberán construirse después de la implementación del plan, teniendo en cuenta las sugerencias realizadas por los mantenedores.

En la Figura 29 se muestra el estándar que deberán usar los técnicos para determinar el estado de los tapones magnéticos. Esto establecerá una directriz a seguir, que permitirá diagnosticar mejor el estado del componente, ya que anteriormente, cada técnico establecía el estado del tapón de acuerdo a su criterio, lo que para algunos mantenedores era pasta para otros era púas. Con el patrón establecido, el trabajo de calificar el estado de este componente se vuelve menos subjetivo y más cuantitativo, también genera un estándar para todos los trabajadores.

Figura 28. Protocolo de Mantenimiento Tren de Potencia

TODAS LAS RUTINAS			
1	REVISAR NIVEL DE ACEITE DE TRANSMISIÓN Y TOMAR MUESTRA DE ACEITE	2	
DESPUES DE APAGAR EL EQUIPO			
2	TOMAR MUESTRAS DE ACEITE AL EJE TRASERO (MANDO FINAL RH, LH Y DIFERENCIAL). ESTAS MUESTRAS DEBEN ENVIARSE A UN LABORATORIO EXTERNO PARA SU ANALISIS. REPORTE LAS PARTÍCULAS ENCONTRADAS EN LOS TAPONES MAGNÉTICOS. TOME FOTO DE SER NECESARIO.	30	
3	TOMAR MUESTRA DE ACEITE DEL DIFERENCIAL Y ENVIAR A CONTRATISTA CAT PARA REALIZAR CONTEO DE PARTÍCULAS Y DETERMINAR SI ES NECESARIO REALIZAR DIÁLISIS AL EJE TRASERO.REGISTRAR VALOR DEL NIVEL ISO EN LA HOJA DE RESPUESTA.	15	

Fuente propia

Figura 29. Referencia estado tapones magnéticos



Fuente propia.

6.9.4. Métricas de desempeño

Se propuso utilizar tres nuevas métricas de desempeño, las cuales son: tiempo medio entre paradas (MTBS), tiempo medio entre fallas (MTBF) y tiempo medio para reparar (MTTR).

El tiempo medio entre paradas se calculará de la siguiente forma:

$$MTBS = \frac{\text{Horas operativas}}{\text{Numero de paradas}} \text{ (horas)}$$

Las horas operativas se pueden determinar mediante los informes que provee el sistema modular del camión. El número de paradas deberá ser llevado por el ingeniero de confiabilidad, de acuerdo a los reportes de entrega de turno del supervisor (los cuales se hacen actualmente).

La Figura 30 muestra la calificación que se le da al mantenimiento dependiendo del valor del MTBS. Cuando se encuentra entre 50 y 60 horas, el mantenimiento es calificado como excelente y se dice que la organización es proactiva. Un valor entre 40 y 50 se califica aceptable, entre 30 y 40 se califica marginal, entre 20 y 30 se califica justo y cuando es menor a 20 horas de califica pobre.

Figura 30. Rendimiento del MTB según su rango

50 to 60 hours	Excellent; high % of scheduled downtime; Equipment Mgmt. organization is highly proactive.
40 to 50 hours	Acceptable; majority of downtime is scheduled; substantial emphasis on Equipment Mgmt.
30 to 40 hours	Marginal; approx. half of all downtime is scheduled; Equipment Mgmt. disciplines not fully functional.
20 to 30 hours	Fair; < 40% downtime is scheduled; minimal effort on Equipment Mgmt.
< 20 hours	Poor; only PM's are scheduled; Equipment Mgmt. organization is purely reactive.

Fuente: Flores, A. A., & Mccaherty, J. W. (2007). Mining Equipment Maintenance & Repair Processes.

El tiempo medio entre fallas se calculará de la siguiente forma:

$$MTBS = \frac{\text{Horas operativas}}{\text{Numero de fallas}} \text{ (horas)}$$

El número de fallas deberá llevarlo el ingeniero de confiabilidad de la misma forma que para el número de paradas.

El tiempo medio para reparar se calculará de la siguiente forma:

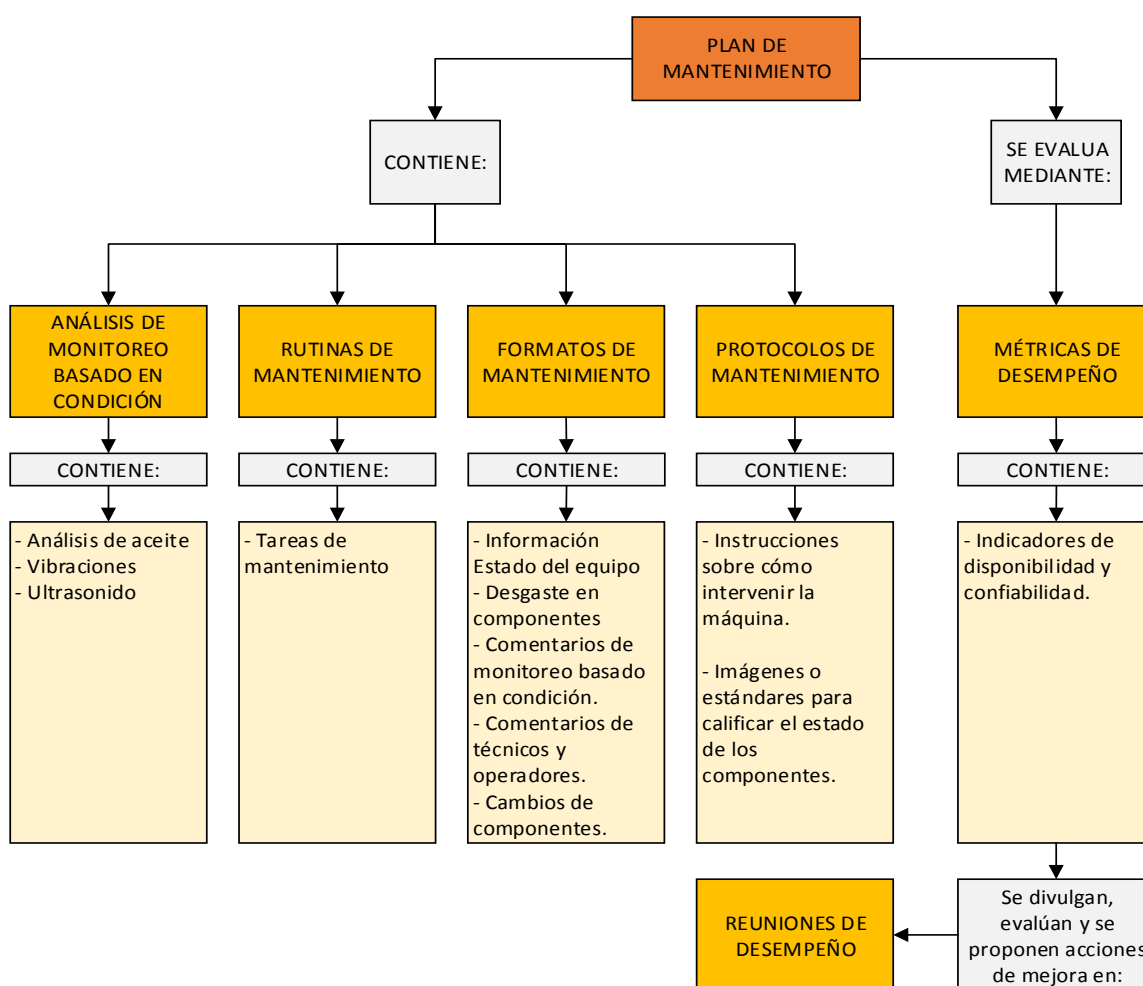
$$MTTR = \frac{\text{Horas down}}{\text{Numero de Paradas}} \text{ (horas)}$$

Al igual que las horas operativas, las horas down se pueden determinar mediante los informes que provee el sistema modular del camión.

6.9.5. Reuniones de desempeño

Se propusieron reuniones mensuales donde se evalué el rendimiento de los camiones. En dichas reuniones se mostrarán los Paretos de falla de la flota mediante dos gráficos, en el primero se identificarán las fallas por sistemas, y en el segundo se verá el detalle de cada sistema. También se evaluará la disponibilidad y la confiabilidad de la flota. La Figura 31 muestra los elementos del programa de mantenimiento y su relación con la reunión de desempeño propuesta.

Figura 31. Elementos del programa de mantenimiento

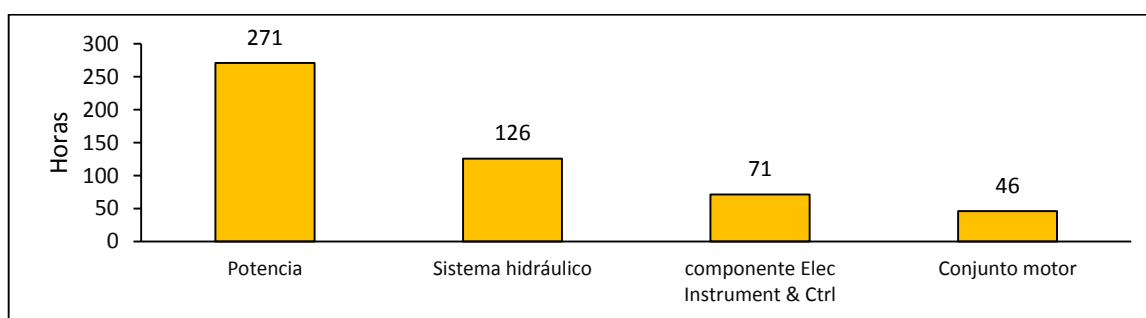


Fuente Propia.

6.9.5.1. Gráficas sugeridas

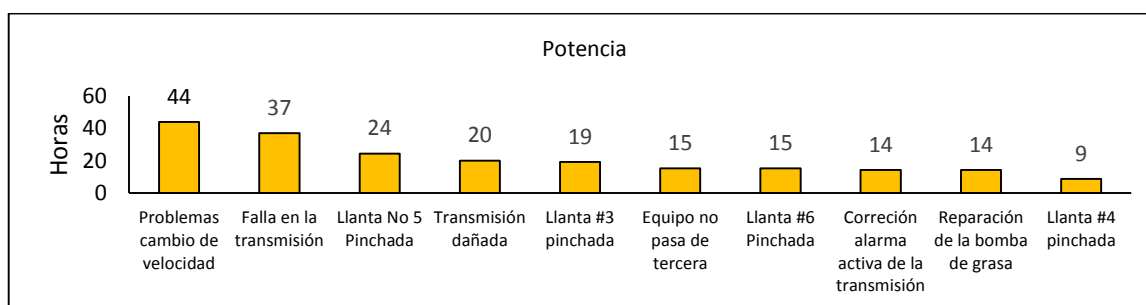
Se propusieron tres tipos de gráfica, una para los Paretos de falla, otra para la disponibilidad y otra para evaluar la confiabilidad de la flota a través el año fiscal de la compañía (FY). En la Figura 32 pueden verse las afectaciones clasificadas por sistema, de la flota de camiones 777G en abril de 2017. En la Figura 33 se muestran las fallas principales del sistema de Potencia, y el tiempo en horas asociado a cada una de ellas.

Figura 32. Pareto de Falla General



Fuente Propia

Figura 33. Pareto de Falla por Sistema Afectado

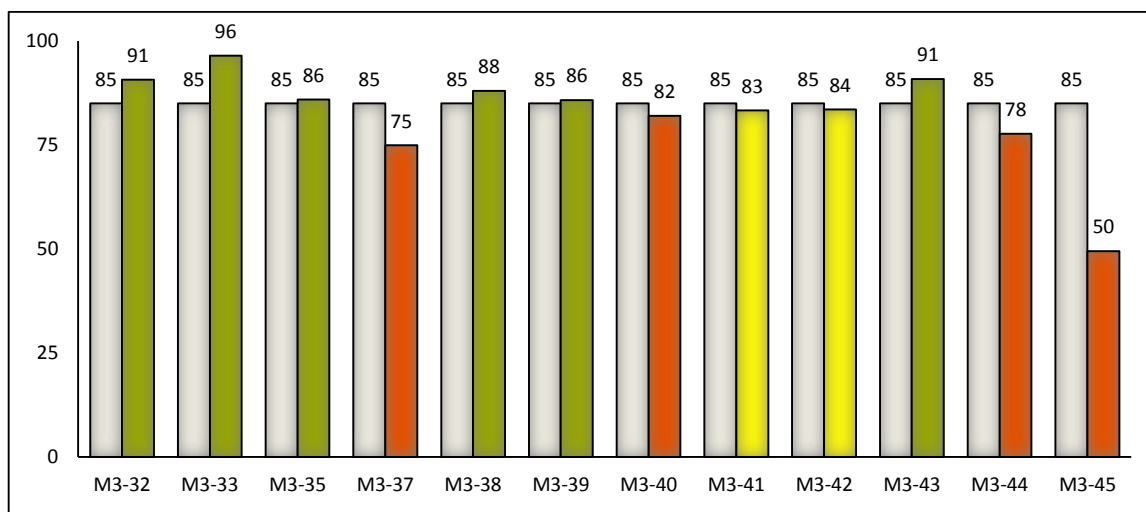


Fuente Propia

Se propuso modificar la gráfica de disponibilidad programada contra disponibilidad real (ver Figura 5), por la que se muestra en la Figura 34. El objetivo de esto, es que quienes asistan a la reunión puedan visualizar más claramente cuáles y cuantos equipos no cumplieron con la disponibilidad programada. Lo ideal es que el

Ingeniero de confiabilidad encargado de presentar el rendimiento de la flota, haga comentarios sobre por qué dichos camiones no alcanzaron la meta propuesta, cuáles fueron los inconvenientes que se presentaron.

Figura 34. Gráfica de disponibilidad propuesta

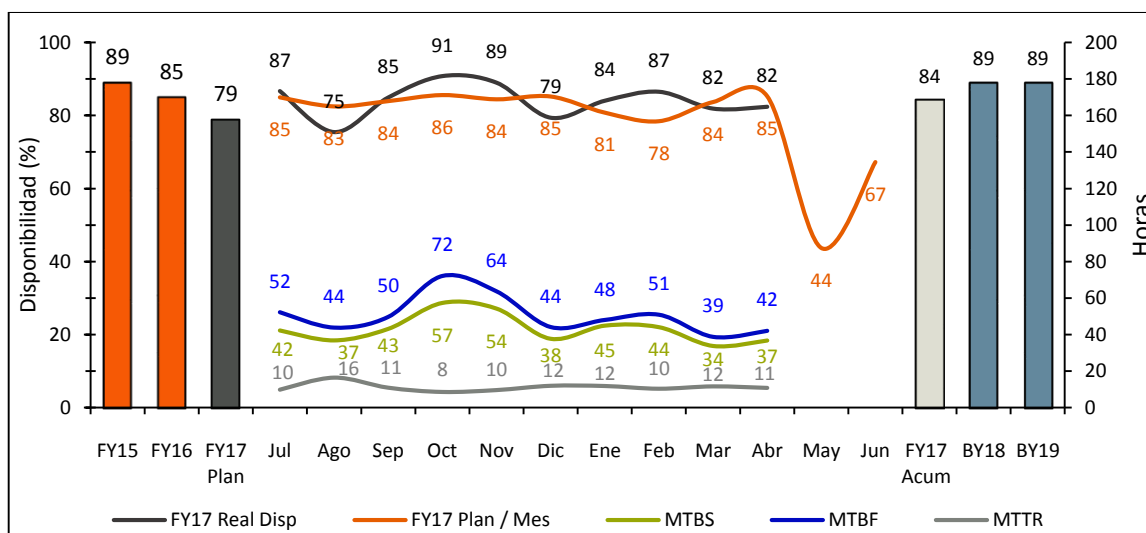


Fuente Propia

Otra gráfica que se propuso y que debe mostrarse, es una donde pueda apreciarse la evolución de los indicadores de confiabilidad y la disponibilidad planeada contra la real a través de los meses. La Figura 35 muestra la disponibilidad acumulada del FY17 (año fiscal) hasta abril de 2017. Se puede ver cómo ha cambiado el MTTR, MTBS y MTBF.

En azul se muestran las metas programadas para los dos siguientes años fiscales, en naranja se muestra la disponibilidad obtenida en los dos años fiscales previos, en gris se ve el acumulado hasta abril de 2017 y en negro la meta programada para el FY17. Esta gráfica es importante en la medida de que permite ver la evolución de la flota y tomar acciones en caso de no ir conforme al plan establecido.

Figura 35. Acumulado FY17



Fuente Propia

Capítulo 7

Propuesta de implementación

En este capítulo se muestra la propuesta de implementación del programa de mantenimiento diseñado. El plan de implementación consta de dos cinco fases, la primera se denomina fase de apertura y consiste en registrar el proyecto en la empresa e identificar las partes interesadas en él.

La segunda es la fase de planeación, la cual tiene como propósito diseñar el plan de trabajo del proyecto, y está dividida en siete etapas, las cuales son: determinar el alcance del proyecto, establecer el tiempo de duración, determinar los costos, determinar el personal previsto, identificar los riesgos, establecer el plan de comunicaciones y diseñar el plan de control de calidad.

La tercera fase es la ejecución del proyecto, la cual está dividida en cinco etapas las cuales son: socializar el plan a los interesados en el proyecto, capacitar a los mantenedores de la unidad en RCM, diseñar los protocolos de mantenimiento del camión, poner en marcha el formato unificado propuesto y las rutinas de mantenimiento diseñadas.

La cuarta fase es la de monitoreo y control del plan de implementación, y consiste en hacer reuniones de avance e informes de cumplimiento de metas, que permitan conocer el estado del proyecto y tomar acciones en caso de que se requieran. Por último, la quinta fase es la de culminación, y consiste en construir el libro del proyecto y consignar en él las lecciones aprendidas.

7.1. Propuesta de implementación

El proyecto consta de cinco etapas y tiene una duración proyectada de 175 días. La Tabla 27 muestra la duración en días de cada una de las fases del plan. En la fase de apertura se dará inicio formal a la implementación, en la fase de planeación se creará un plan de dirección en donde se define la estrategia de ejecución del proyecto.

En la fase de ejecución se realizan las actividades que son necesarias para aplicar la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad, y que fueron resultado del diseño del programa de mantenimiento basado en RCM. Simultáneamente habrá una fase de monitoreo y control, que tiene como objetivo medir y controlar los procesos que se realizados durante la ejecución, con el objetivo de que se cumpla el plan de trabajo establecido previamente.

Por último, en la fase de culminación (llamada también fase de cierre) se dará fin a la implementación, en ella se creará un libro con la estrategia y las tácticas utilizadas para la dirección del proyecto, la forma en como éste se ejecutó y se controló y las lecciones aprendidas durante su desarrollo. El listado completo de las actividades puede verse en el Anexo 24 - Plan de implementación.

Tabla 27 - Duración del plan de implementación

Ítem	Fase	Duración (días)
1	Apertura	10
2	Planeación	30
3	Ejecución	120
4	Control y Monitoreo	No Aplica
5	Culminación	15

Fuente propia.

7.2. Fase de Apertura

La fase de apertura consiste en dar inicio al proyecto, y tiene dos etapas. La primera de ellas, es determinar las partes interesadas en el proyecto, y la segunda es registrar el proyecto en la empresa. La Tabla 28 muestra los entregables, el responsable, el encargado y el tiempo estimado a cada una de las etapas de la fase de apertura. La fase de apertura tiene un tiempo estimado de 10 días (incluyendo las dos actividades).

Tabla 28 - Actividades de la etapa de apertura del proyecto

ÍTEM	ETAPA	ENTREGABLE	RESPONSABLE	ENCARGADO	TIEMPO ESTIMADO
1.1	Determinación de las partes interesadas	Análisis y listado de interesados	Superintendente	Líder del Proyecto	10
1.2	Registro del proyecto en la empresa	Acta de registro	Superintendente	Líder del Proyecto	1

Fuente propia.

7.2.1. Determinación de las partes interesadas

Los interesados del proyecto son los individuos, grupos u organizaciones que pueden afectar, verse afectados o percibirse a sí mismos como afectados por una decisión, actividad o resultado del proyecto [12]. Teniendo en cuenta esto, se propone dividir al personal en cuatro grupos o partes interesadas.

Habrà un grupo denominado: Personal operativo, y estará compuesto por los operadores de los camiones y el personal administrativo de la unidad de negocios Operación Mina. Habrà un segundo grupo llamado: Personal Técnico, y estará compuesto por los mantenedores (electricistas, mecánicos, lubricadores y soldadores), personal contratista (como Mobil, SKF, Relianz, y todas las empresas que prestan servicio a la

unidad Mantenimiento Mina). Habrá un tercer grupo llamado: Personal administrativo, y estará compuesto por los supervisores de la unidad, el planner de mantenimiento, el asistente de planeación, el ingeniero de confiabilidad, el ingeniero de costos y por el superintendente de la unidad. El cuarto y último grupo se llamará: Personal gerencial, y estará formado por los gerentes de la empresa Cerro Matoso S.A (Gerente de Planeación, Gerente de Mina, Vicepresidencias y Presidencia).

El objetivo de dividir al personal, es identificar y analizar los intereses, expectativas, importancia e influencia de cada uno de ellos en el desarrollo del proyecto, así como el de las personas pertenecientes a dichos grupos (requisitos). Para ello, se deberá crear un registro de los interesados, el cual deberá tener la información que se muestra en la Tabla 29. El resultado al finalizar esta etapa, es un documento con todas las personas a quienes se les consideró partes interesadas.

Tabla 29 - Información de registro de los interesados

Información de identificación	Información de evaluación	Clasificación del interesado
<ul style="list-style-type: none"> - Nombre - Puesto en la organización - Rol en el proyecto - Información de contacto 	<ul style="list-style-type: none"> - Requisitos principales - Expectativas principales - Influencia potencial en el proyecto 	<ul style="list-style-type: none"> -Grupo al que pertenece - Partidario/Neutral/reticente

Fuente propia basada en [12]

7.2.2. Registro del proyecto

Luego de determinar y clasificar a las partes interesadas, se deberá hacer el registro del proyecto en la empresa. Esto se hace presentándolo ante la superintendencia y gerencia de la unidad de negocios Mantenimiento Mina. Una vez sea aprobado, deberá crearse un acta en donde se evidencie que el proyecto tiene el visto bueno de la directiva,

y un documento donde se muestre el beneficio que traerá a la compañía, resaltando el impacto positivo que tendrá en la unidad, y en otras dependencias de la empresa. El registro del proyecto es la etapa final de la fase de apertura, por lo que una vez finalizada, se da inicio a la fase de planeación.

7.3. Fase de Planeación

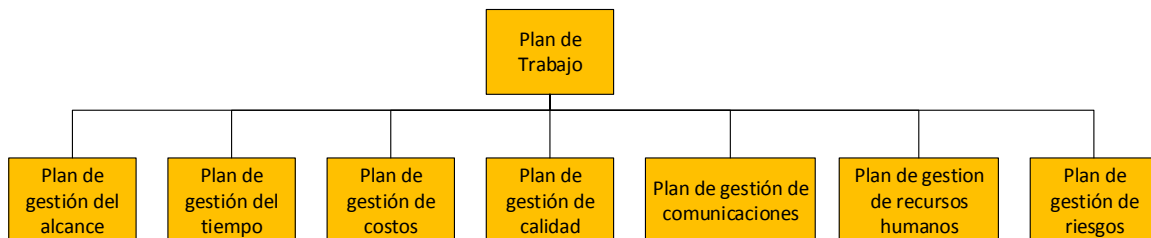
La fase de planeación consiste en establecer un plan de trabajo en donde detalle como se debe gestionar el alcance del proyecto, el tiempo, los costos, el recurso humano, las comunicaciones, los riesgos y la calidad del proyecto. Su objetivo es diseñar un plan de dirección que establezca objetivos, y desarrollar la línea de acción que ayudará a alcanzarlos. En otras palabras, en esta fase se crearán las estrategias, tácticas y la ruta que permitirá completar exitosamente el proyecto.

7.3.1. Diseño del plan de trabajo

El plan de trabajo o plan de dirección consistirá en gestionar las diferentes áreas involucradas dentro del proyecto con el objetivo de cumplir con las metas propuestas al inicio del mismo.

El resultado de esta etapa de la fase de planeación deberá ser un libro donde se muestre el plan de dirección el cual se compondrá de varios sub-planes, los cuales se muestran en la Figura 36. Cada sub-plan tiene un responsable y un encargado determinado, la persona responsable es la que responde ante la compañía por los resultados de la etapa. El encargado es la persona que debe ejecutar la etapa del proyecto.

Figura 36. Plan de trabajo



Fuente propia.

7.3.1.1. Gestión del alcance

Esta etapa consiste en determinar cómo se definirá, validará y controlará lo que abarca el proyecto. Para ello se deberá crear un plan de gestión del alcance, que indique como se recopilarán los requisitos o requerimientos que se tengan. Dicho plan estará compuesto de dos sub-planes los cuales se muestran en la Tabla 30, y que son entregables o resultados de esta etapa.

Finalmente, la gestión del alcance es importante ya que con ella se logra balancear las necesidades y expectativas del proyecto, con el propósito de que éste se pueda cumplir exitosamente, conforme a unos requisitos determinados.

Tabla 30 - Contenido del plan de gestión del alcance

Plan	Descripción
Plan de Gestión de los requisitos	En el plan de gestión de requisitos se debe detallar como se organizan, modifican y trazan los requerimientos y los atributos utilizados en el proyecto.
Plan de Gestión de los interesados	En el plan de gestión de los interesados se debe establecer cómo se va a dar cumplimiento a los requerimientos, expectativas y necesidades de todas las partes interesadas en el proyecto.

Fuente propia

7.3.1.2. Gestión del tiempo

El plan de gestión del tiempo deberá contener todos los procesos requeridos para completar el proyecto dentro del plazo acordado. Para ello se deberá establecer un cronograma conforme a la situación actual de la empresa, teniendo en cuenta las restricciones de calendario, tales como días festivos y actividades programadas previamente dentro de la unidad de negocios mantenimiento mina, tales como “Overhaules” y actividades de los mantenedores. La gestión del tiempo es importante ya que ayuda a determinar el tiempo que requerirán las actividades y el recurso humano encargado de ejecutarlas.

Tabla 31- Contenido del plan de gestión del tiempo

Actividad	Descripción
Determinación de restricciones de tiempo	Listado de días no disponibles: Debe contener los días festivos, domingos y fines de semana en donde no se puede avanzar durante la ejecución del proyecto de RCM.
Elaboración del Cronograma del Proyecto	Cronograma del proyecto: Cronograma con todas las actividades que se requieran durante las fases de ejecución, monitoreo y control, y culminación del proyecto.

Fuente propia

7.3.1.3. Gestión de los costos

El plan de gestión de los costos debe contener los costos fijos, costos variables y el listado de horas de trabajo requeridas durante las fases de ejecución, control y monitoreo, y culminación. La gestión de los costos es importante ya que permite establecer el costo total del proyecto y clasificarlo, con ello se podrá hacer un control de ellos durante la ejecución.

Tabla 32 - Contenido del plan de gestión de los costos

Actividad	Descripción
Determinación de horas de trabajo	Listado de horas de trabajo: Debe contener todas las horas hombre requeridas durante las últimas tres fases del proyecto, incluyendo a los mantenedores, personal contratista involucrado directamente en el proyecto, y el personal administrativo de la unidad de negocios mantenimiento mina que tengan asignadas responsabilidades en el desarrollo del proyecto.
Determinación de costos fijos	Listado de costos fijos: Deberá contener los costos fijos asociados, tales como salarios del personal involucrado en el proyecto, contratistas y no contratistas.
Determinación de costos variables	Listado de costos variables: Debe contener los costos variables asociados, tales como costes de impresoras, material didáctico utilizado en los entrenamientos, entre otros.

Fuente propia

7.3.1.4. Gestión de calidad

El plan de gestión de calidad consiste en medir todos procesos del proyecto. Se propone implementar controles de costos y controles de tiempo, para ellos se pueden utilizar los indicadores que se muestran en la Tabla 33.

Los indicadores propuestos ayudarán a controlar y monitorear el desempeño del proyecto, conocer si se está avanzando conforme a lo planeado, y en caso de que se requieran acciones poder orientarlas de acuerdo a las necesidades del proyecto.

Tabla 33 - Contenido del plan de gestión de la calidad

Actividad	Descripción	Indicador propuesto
Control del tiempo	Indicadores de cumplimiento: Consiste en medir el cumplimiento del cronograma propuesto.	- Variación con respecto al cronograma (Schedule variance). - Desempeño frente al cronograma (Schedule Performance Index).
Control del costo	Indicadores de costos: Consiste en hacer un control en los costos incurridos durante la realización del proyecto.	- Variación del costo (Cost Variance): Se determina con la diferencia entre el valor real del trabajo ejecutado y presupuestado. - Costo estimado del proyecto EAC(\$) (Estimated at completion) : Se determina sumando el valor todas las actividades del proyecto.

7.3.1.5. Gestión de comunicaciones

El plan de gestión de comunicaciones consistirá en determinar cómo se comunicará el avance del proyecto a lo largo de las etapas de ejecución, monitoreo y control, y culminación. Para ello se propone hacer una matriz de comunicaciones en donde se identifique la información mostrada en la Tabla 34.

La matriz de comunicaciones es importante ya que permite llevar un control de las comunicaciones, las cuales garantizan que exista una sola fuente de la verdad. Lo anterior evitara que se generen errores producto de ambigüedades en la transmisión de información durante la ejecución del proyecto.

Tabla 34 – Contenido de la matriz de comunicación propuesta

Quien comunica	Que comunica	A quien comunica	Importancia en el proyecto	Como comunica	Canal de comunicación	Periodicidad de la comunicación
<ul style="list-style-type: none"> - Gerente de la unidad - Superintendente - Líder del proyecto - Supervisor - Otros roles 	<ul style="list-style-type: none"> - Informe de avance - Indicadores de calidad - Requerimientos de información técnica 	<ul style="list-style-type: none"> - Gerente de la unidad - Superintendente - Líder del proyecto - Supervisor - Otros roles 	<ul style="list-style-type: none"> - Alta - Media - Baja 	<ul style="list-style-type: none"> - Oral - Escrita - Formal - Informal 	<ul style="list-style-type: none"> - Correo - Reporte - Presentación 	<ul style="list-style-type: none"> - Trimestral - Mensual - Semanal - Quincenal - Diaria

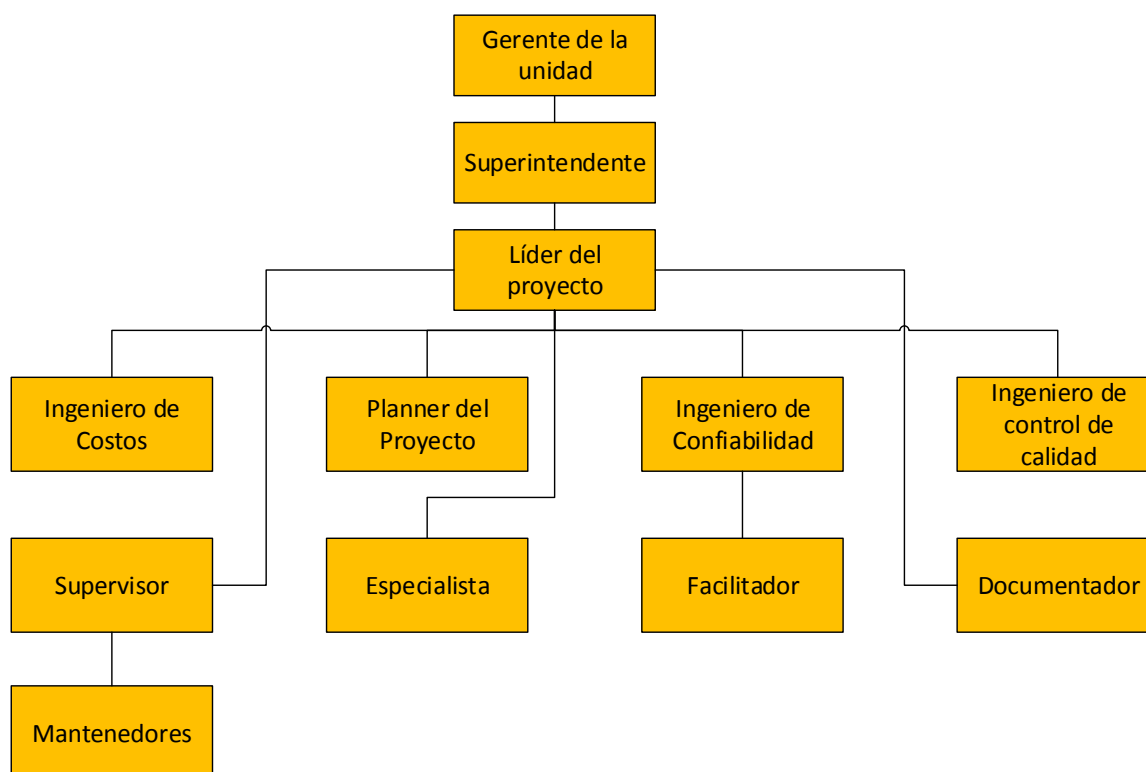
Fuente propia

7.3.1.6. Gestión de recursos humanos

El plan de gestión de los recursos humanos se encarga crear el equipo del proyecto y de establecer los roles asociados a cada uno de ellos. Lo anterior se hace creando un listado con todos los interesados que tengan un rol determinando en el proyecto y luego jerarquizarlos mediante un organigrama. Los roles se establecen por medio de una matriz RACI.

La Figura 37 muestra el organigrama del equipo de trabajo propuesto para la implementación del proyecto.

Figura 37. Organigrama propuesto para el equipo del Proyecto



Fuente propia

Debe hacerse una matriz RACI para cada una de las del proyecto. Los roles asociados son los que se muestran en la Tabla 35 y en la Tabla 36. Responsable hace referencia a la persona que responde ante la organización y no puede haber más de dos roles asociados en esta categoría. Accountable hace referencia a los encargados de ejecutar la actividad o tarea. Consulted son todas las personas que pueden ser consultadas para realizar la actividad o tarea. Por último, Informed, son todas aquellas personas que reciben información relacionada con la actividad o tarea en cuestión.

Tabla 35 - Matriz RACI

Roles	Responsable	Accountable	Consulted	Informed
Gerente de la unidad				
Superintendente				
Líder del proyecto				
Ingeniero de Costos				
Planner del proyecto				
Ingeniero de confiabilidad				
Ingeniero de control de calidad				
Supervisor				
Especialista				
Facilitador				
Documentador				
Mantenedores				

Fuente propia.

Tabla 36 – Roles generales de los integrantes del equipo del proyecto

Roles	Descripción del rol principal
Gerente de la unidad	Reportara los resultados ante la presidencia.
Superintendente	Reportara los avances ante la gerencia de la unidad.
Líder del proyecto	Responsable del proyecto.
Ingeniero de Costos	Responsable de establecer los costos del proyecto
Planner del proyecto	Responsable de planificar las actividades del proyecto
Ingeniero de confiabilidad	Responsable de la correcta aplicación del RCM
Ingeniero de control de calidad	Responsable de controlar los indicadores del proyecto
Supervisor	Responsable de comunicaciones a los mantenedores
Especialista	Responsable de los entrenamientos en RCM
Facilitador	Responsable de la logística durante la ejecución del RCM
Documentador	Responsable del crear el libro del proyecto
Mantenedores	Personal encargado de ejecutar el RCM a los equipos

Fuente propia.

7.3.1.7. Gestión de los riesgos

Se propone utilizar una matriz de riesgos para determinar los factores que pueden impactar negativamente en el correcto desarrollo del proyecto. La gestión del riesgo es importante ya que ayuda a mitigar los factores que afectan negativamente la ejecución del

mismo. La Tabla 37 muestra la matriz de riesgos propuesta, con tres posibles riesgos asociados al proyecto.

Tabla 37. Matriz de riesgos

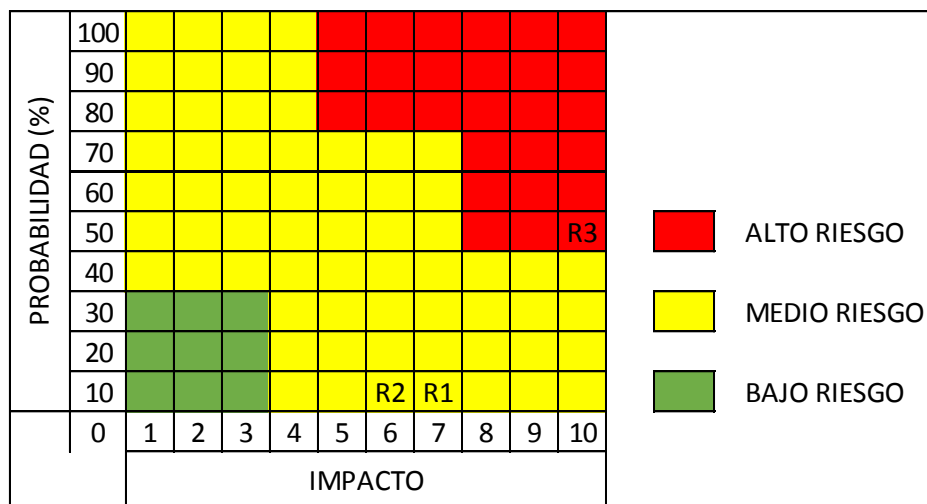
Ítem	Causa	Podría ocurrir (Evento)	Consecuencia	Afectación	Probabilidad	Impacto	Acciones
R1	Renuncia de alguno de los integrante	Re trabajo para los demás integrantes	Retrasos en el cronograma planificado	Tiempo, calidad, alcance	10%	7	Mantener informado a todos los miembros del equipo de todas las actividades, así como el cumplimiento y el no cumplimiento de las mismas. De modo que cualquier integrante pueda retomar el trabajo que llevaba el otro.
R2	Viaje de alguno de los integrantes	No se podrían entregar algunas actividades a tiempo	Retrasos en el cronograma planificado	Tiempo, calidad, alcance	10%	6	Si un integrante tiene planeado viajar debe darlo a conocer previamente con buen tiempo de anticipación (2 semanas).
R3	Información manejada de forma insegura	La información del proyecto podría caer en personas que la usen contra la compañía.	Pérdidas económicas y posible suspensión del proyecto	Alcance	50%	10	Contratos de confidencialidad con el personal encargado de manejar y documentar la información, y manejar todo en el intranet de la empresa.

Fuente propia.

Luego de crear la matriz de riesgos debe hacerse un análisis de riesgos mediante un gráfico de magnitud de daño (impacto) contra probabilidad de amenaza (probabilidad) utilizando los datos de la matriz. Para el ejemplo en consideración puede utilizarse un gráfico similar al mostrado en la Figura 38. El lector puede ver que al ítem R3 de la Tabla 37 le corresponde un riesgo alto según el grafico sugerido, ya que su impacto es de 10 y su probabilidad es de 50%. Es importante resaltar que tanto el impacto, como la

probabilidad se define subjetivamente y el encargado de establecer los riesgos y categorizarlos es el ingeniero de control de calidad.

Figura 38. Análisis de riesgos del proyecto



Fuente propia basada en [12].

7.3.2. Correcciones del plan de trabajo

Una vez se hayan creado todos los planes mencionados previamente y sus resultados asociados (ver Tabla 38). Debe reunirse al grupo del proyecto para verificar que las actividades y los resultados de los planes de gestión si cumplen con los requisitos establecidos en la fase de apertura. Si algunos de ellos requieren ser ajustados, se deberán realizar las correcciones pertinentes. Al finalizar esta etapa se deberá crear un documento con todos planes expuestos previamente.

Tabla 38 - Actividades de la etapa de Planeación del proyecto

ÍTEM	TAREA	ENTREGABLE	RESPONSABLE	ENCARGADO	TIEMPO ESTIMADO
2	Diseño del plan de Trabajo	Plan de Trabajo	Líder del Proyecto	Planner del Proyecto	90
2.1	Gestión del alcance		Líder del Proyecto	Líder del Proyecto	20
2.1.1	Gestión de los interesados	Listado de interesados	Líder del Proyecto	Líder del Proyecto	10
2.1.2	Gestión de los requisitos	Plan de requisitos	Líder del Proyecto	Líder del Proyecto	10
2.2	Gestión del tiempo		Líder del Proyecto	Planner del Proyecto	15
2.2.1	Determinación de restricciones de tiempo	Listado de días no disponibles	Líder del Proyecto	Planner del Proyecto	5
2.2.2	Elaboración del Cronograma del Proyecto	Cronograma del proyecto	Líder del Proyecto	Planner del Proyecto	10
2.3	Gestión de costos		Líder del Proyecto	Ingeniero de Costos	15
2.3.1	Determinación de horas de trabajo	Listado de horas de trabajo	Líder del Proyecto	Ingeniero de Costos	5
2.3.2	Determinación de costos fijos	Listado de costos fijos	Líder del Proyecto	Ingeniero de Costos	5
2.3.3	Determinación de costos variables	Listado de costos variables	Líder del Proyecto	Ingeniero de Costos	5
2.4	Gestión de calidad		Líder del Proyecto	Ingeniero de Confiabilidad	10
2.4.1	Control del tiempo	Plan de indicadores de cumplimiento	Líder del Proyecto	Ingeniero de Confiabilidad	5
2.4.2	Control del costo	Plan de indicadores de costos	Líder del Proyecto	Ingeniero de Costos	5
2.5	Gestión de comunicaciones		Líder del Proyecto	Ingeniero de Control de Calidad	5
2.5.1	Construcción de la matriz de comunicaciones	Matriz de comunicaciones	Líder del Proyecto	Ingeniero de Control de Calidad	5
2.6	Gestión de Recursos Humanos		Superintendente	Líder del Proyecto	15
2.6.1	Composición del equipo del Proyecto	Organigrama del Proyecto	Superintendente	Líder del Proyecto	5
2.6.2	Asignación de roles al equipo del Proyecto	Listado del equipo del Proyecto	Superintendente	Líder del Proyecto	5
2.6.3	Construcción de la Matriz RACI	Matriz RACI	Líder del Proyecto	Documentador	5
2.7	Gestión de riesgos		Líder del Proyecto	Ingeniero de Control de Calidad	10
2.7.1	Construcción de la Matriz de Riesgos	Matriz de riesgos	Líder del Proyecto	Ingeniero de Control de Calidad	5
2.7.2	Correcciones del plan de Trabajo	Listado de correcciones del Plan	Líder del Proyecto	Planner del Proyecto	5

Fuente propia.

7.4. Fase de ejecución

Una vez se haya construido el plan de trabajo o de dirección se da inicio a la fase de ejecución, en la cual se realizan todas las actividades que fueron resultado del diseño del programa de mantenimiento expuesto en el capítulo 6. Esta fase se hace paralelamente a la fase de monitoreo y control.

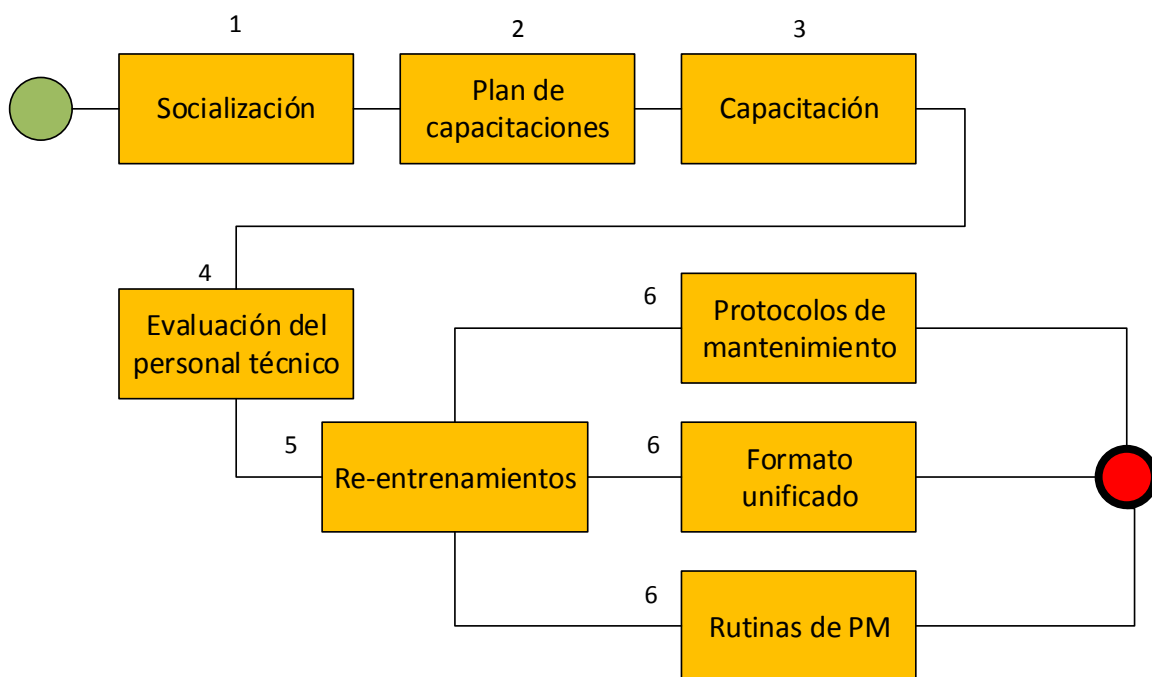
La fase de ejecución consta de seis etapas, las cuales se muestran en la Figura 39. La primera etapa es la Socialización del proyecto con los grupos interesados, luego se establecerá un plan de capacitaciones de acuerdo a la situación actual de la unidad de negocios Mantenimiento Mina.

La tercera etapa es la fase de Capacitación, en donde se entrenará al personal técnico en la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad, en ellos se realizarán talleres en donde se expliquen los sistemas del camión y sus componentes asociados.

En la cuarta etapa, llamada Evaluación del Personal Técnico, se realizará una prueba en donde se midan los conocimientos de dicho grupo con respecto al RCM, al final se generará un listado con las personas que no hayan aprobado. En la quinta etapa llamada Re-entrenamientos, se fortalecerán los conocimientos de las personas que hayan reprobado el examen.

La sexta etapa, consta de tres actividades las cuales son: Protocolos de Mantenimiento, Formato Unificado y Rutinas de PM, y consiste en utilizar el formato, las rutinas y los protocolos propuestos en el diseño del plan.

Figura 39. Etapas de la fase de ejecución



7.4.1. Etapa de socialización

La primera etapa consiste en hacer charlas donde se explique el plan de mantenimiento a los diferentes grupos. Esta etapa tiene una duración de 26 días máximo, y tiene cuatro actividades, las cuales son presentaciones del proyecto (ver Tabla 39).

Tabla 39 - Contenido de la etapa de socialización

ÍTEM	TAREA	ENTREGABLE	RESPONSABLE	ENCARGADO	TIEMPO ESTIMADO
3.1	Socialización	Plan de socialización	Líder del Proyecto	Varios	26
3.1.1	Presentación al personal gerencial	Listado de comentarios	Gerente de la unidad	Líder del Proyecto, Superintendente	1
3.1.2	Presentación al personal operativo	Listado de comentarios	Gerente de la unidad	Líder del Proyecto, Superintendente	12
3.1.3	Presentación al personal técnico	Listado de comentarios	Líder del Proyecto	Supervisor	12
3.1.4	Presentación al personal administrativo	Listado de comentarios administrativo	Superintendente	Líder del Proyecto	1

Como todas las actividades son presentaciones del proyecto a los diferentes grupos interesados, los entregables de esta etapa son listas con las acciones a tomar según las observaciones realizadas por los diferentes grupos, tales como disponibilidad de tiempo que tengan, recursos que puedan aportar, entre otros.

7.4.1.1. Presentación al Personal gerencial

Se realizará una presentación al Personal gerencial donde se expongan los beneficios económicos que representa cambiar la metodología de mantenimiento basado en tiempo a la metodología de mantenimiento basada en confiabilidad. Se mostrará el ahorro que puede obtenerse anualmente por cambio de componentes y horas hombre, así como el impacto positivo que se tendrá en la producción de la compañía por la reducción de paradas de mantenimiento. La duración de esta actividad es de un día y se desarrolla en un espacio de una hora.

7.4.1.2. Presentación al Personal operativo

Luego de realizar la presentación al Personal gerencial, se hará una presentación al Personal operativo, inicialmente a los supervisores y la superintendencia de la unidad Operación Mina, para que ellos divulguen los cambios que se obtendrán a los operadores de los camiones. Lo anterior tiene una duración de un día en un espacio de una hora.

Cuando los operadores ya estén informados del programa RCM, se realizarán charlas con ellos y con sus respectivos supervisores, en donde se les indiquen los nuevos procedimientos que deben seguir, cuando se presente una falla. Lo anterior tiene una duración de 16 días.

7.4.1.3. Presentación al Personal administrativo

Se realizará una presentación al personal administrativo donde se muestren los beneficios que representa para la unidad la aplicación del RCM, tales como la reducción de costos por horas hombre y repuestos, aumento proyectado en la disponibilidad, homogenización de la duración de las rutinas de mantenimiento. También se explicará el rol que cada uno de los integrantes de este grupo tendrá cuando el programa de mantenimiento basado en RCM sea implementado. Esta etapa tiene una duración de 1 día.

7.4.1.4. Presentación al Personal Técnico

Por último, se realizará una presentación al Personal técnico en donde se explicará lo que se busca con la metodología de mantenimiento a implementar. Los beneficios que trae el plan basado en RCM, tales como, reducción de tiempos en la ejecución del PM y mayor facilidad en el desarrollo de las actividades. Esta etapa tiene una duración de 16 días.

7.4.2. Etapa de Planeación de la Capacitación

Esta etapa consiste en planear las actividades a desarrollar en las capacitaciones que se les darán a los técnicos mantenedores en RCM. Consta de dos actividades las cuales se muestran en la Tabla 40. La primera actividad es un construir un plan de capacitaciones en mantenimiento centrado en confiabilidad, que se adapte a la situación actual de la unidad de negocios. La segunda actividad es crear la evaluación que se le va a hacer al personal técnico para determinar si aprobaron los talleres o el curso de RCM que se les va a dar.

Tabla 40 - Actividades del plan de capacitaciones

ÍTEM	TAREA	ENTREGABLE	RESPONSABLE	ENCARGADO	TIEMPO ESTIMADO
3.2	Plan de capacitaciones		Líder del Proyecto	Especialista	35
3.2.1	Construcción del plan de trabajo del taller de RCM	Plan de entrenamientos	Líder del Proyecto	Especialista	30
3.2.2	Elaboración de la evaluación del taller de RCM	Documento (Evaluación del personal)	Líder del Proyecto	Especialista	5

Fuente propia

7.4.3. Etapa de Capacitación

Esta etapa consiste en entrenar al personal técnico en RCM, se explicará que es la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad, así como los sistemas y componentes del camión establecidos previamente en el capítulo 6. Esta etapa tiene una duración de 36 días y tiene ocho actividades las cuales se muestran en la Tabla 41.

Tabla 41 - Actividades de la etapa de capacitación

ÍTEM	TAREA	ENTREGABLE	RESPONSABLE	ENCARGADO	TIEMPO ESTIMADO
3.3	Capacitación		Líder del Proyecto	Especialista	36
3.3.1	Taller General de RCM	Listado de asistencia taller 1	Líder del Proyecto	Especialista	5
3.3.2	Taller del sistema motriz	Listado de asistencia taller 2	Líder del Proyecto	Especialista	5
3.3.3	Taller del sistema de tren de potencia	Listado de asistencia taller 3	Líder del Proyecto	Especialista	5
3.3.4	Taller del sistema de freno	Listado de asistencia taller 4	Líder del Proyecto	Especialista	5
3.3.5	Taller del sistema hidráulico	Listado de asistencia taller 5	Líder del Proyecto	Especialista	5
3.3.6	Taller del sistema estructural	Listado de asistencia taller 6	Líder del Proyecto	Especialista	5
3.3.7	Taller del sistema eléctrico y electrónico	Listado de asistencia taller 7	Líder del Proyecto	Especialista	5
3.3.8	Retroalimentación	Listado de asistencia taller 8	Líder del Proyecto	Especialista	1

Fuente propia

7.4.4. Etapa de Evaluación

Después de finalizar los talleres, se hará una evaluación individual con preguntas de selección múltiple con justificación, para determinar quiénes aprobaron la

capacitación. Un especialista será el encargado de realizar las evaluaciones. Esta actividad tiene una duración de 12 días y se hará en un espacio de una hora. La Tabla 42 muestra las actividades de la etapa de evaluación.

Tabla 42 - Actividades de la etapa de evaluación

ÍTEM	TAREA	ENTREGABLE	RESPONSABLE	ENCARGADO	TIEMPO ESTIMADO
3.4	Evaluación del personal técnico		Líder del Proyecto	Especialista	12
3.4.1	Realización de la evaluación	Carpeta con evaluaciones	Líder del Proyecto	Especialista	5
3.4.2	Calificación de evaluaciones	Listado de personas que reprobaron	Líder del Proyecto	Especialista	5
3.4.3	Retroalimentación con el personal que reprobó	Listado de personas que hicieron retroalimentación	Líder del Proyecto	Especialista	2

Fuente propia

7.4.5. Etapa de Re-entrenamientos

Luego de la etapa de evaluación se realizará un re entrenamiento a aquellas personas que no hayan aprobado la evaluación. Los técnicos deberán corregir el examen y sustentarlo ante el especialista encargado de los entrenamientos. Esta etapa tiene una duración de 10 días.

Tabla 43 - Actividades de la etapa de Re-entrenamientos

ÍTEM	TAREA	ENTREGABLE	RESPONSABLE	ENCARGADO	TIEMPO ESTIMADO
3.5	Re-entrenamiento y sustentación de personal que reprobó	Listado de personas que recibieron el re entrenamiento	Líder del Proyecto	Especialista	10

Fuente propia

7.4.6. Etapa de Protocolos de Mantenimiento

La etapa de Protocolos de Mantenimiento, consiste en determinar los procedimientos existentes en el taller y desarrollar protocolos similares al diseñado en el diseño del programa de mantenimiento. Para ello debe hacerse un diagnóstico del taller a fin de conocer los requisitos o requerimientos necesarios para construir los procedimientos y estándares de mantenimiento a implementar. Después de ello, se deben registrar los protocolos en el sistema de formatos y normas de la compañía (normalización en línea). La Tabla 44 muestra las actividades de la etapa de protocolos de mantenimiento.

Tabla 44 - Actividades de la etapa de protocolos de mantenimiento

ÍTEM	TAREA	ENTREGABLE	RESPONSABLE	ENCARGADO	TIEMPO ESTIMADO
3.6	Protocolos de mantenimiento	Protocolos de mantenimiento	Líder del Proyecto	Facilitador	33
3.6.1	Determinación de los requisitos de los protocolos	Documento (Diagnostico de los procedimientos)	Líder del Proyecto	Facilitador	15
3.6.2	Construcción de los protocolos	Carpeta con protocolos	Líder del Proyecto	Facilitador	16
3.6.2.1	Construcción de protocolo de Sistema motriz	Protocolo del sistema motriz	Líder del Proyecto	Facilitador	2
3.6.2.2	Construcción de protocolo de Tren de Potencia	Protocolo del sistema de tren de potencia	Líder del Proyecto	Facilitador	2
3.6.2.3	Construcción de protocolo de Sistema de Freno	Protocolo del sistema de freno	Líder del Proyecto	Facilitador	2
3.6.2.4	Construcción de protocolo de Sistema Hidráulico	Protocolo del sistema hidráulico	Líder del Proyecto	Facilitador	2
3.6.2.5	Construcción de protocolo de Sistema Estructural	Protocolo del sistema estructural	Líder del Proyecto	Facilitador	2
3.6.2.6	Construcción de protocolo de Sistema Eléctrico	Protocolo del sistema eléctrico	Líder del Proyecto	Facilitador	2
3.6.2.7	Construcción de protocolo de Sistema Electrónico	Protocolo del sistema electrónico	Líder del Proyecto	Facilitador	2
3.6.3	Registro de los protocolos en normalización en línea CMSA	Acta de registro de protocolos	Líder del Proyecto	Documentador	1
3.6.4	Puesta en marcha de los protocolos de mantenimiento	Protocolos de mantenimiento diligenciados	Líder del Proyecto	Facilitador	1

Fuente propia

7.4.7. Etapa de formato unificado

La etapa de formato unificado es similar a la de los protocolos de mantenimiento, consta de tres días de duración y tiene las actividades mostradas en la Tabla 45. Primero se registrará el formato en normalización en línea, luego se creará un archivo de Excel con los datos que contiene el formato, con el objetivo de alimentarlo cada vez que se realice un mantenimiento preventivo (base de datos). Por último, se pondrá en marcha.

Tabla 45 - Actividades de la etapa de formato unificado

ÍTEM	TAREA	ENTREGABLE	RESPONSABLE	ENCARGADO	TIEMPO ESTIMADO
3.7	Formato unificado		Ingeniero de Confiabilidad	Facilitador	3
3.7.1	Registro del formato unificado en normalización en línea CMSA	Acta de registro de protocolos	Ingeniero de Confiabilidad	Facilitador	1
3.7.2	Construcción de la base de datos del formato unificado	Base de datos de PM	Ingeniero de Confiabilidad	Facilitador	1
3.7.3	Puesta en marcha del formato unificado	Formatos diligenciados	Ingeniero de Confiabilidad	Facilitador	1

Fuente propia

7.4.8. Etapa de rutinas de PM

La etapa de Rutinas de PM es parecida a la de Formato Unificado, tiene una duración de dos días y consta de dos actividades. Las cuales se muestran en la Tabla 46.

Tabla 46 - Actividades de la etapa de rutinas de PM

ÍTEM	TAREA	ENTREGABLE	RESPONSABLE	ENCARGADO	TIEMPO ESTIMADO
3.8.1	Registro de las rutinas de PM en normalización en línea CMSA	Acta de registro de rutinas de mantenimiento	Ingeniero de Confiabilidad	Facilitador	1
3.8.2	Puesta en marcha de las rutinas de PM		Ingeniero de Confiabilidad	Facilitador	1

Fuente propia

7.5. Fase de monitoreo y control del proyecto

La fase de Monitoreo y Control del proyecto se hace paralelamente a la fase de Ejecución, y consiste en medir y controlar los procesos de ejecución para que cumplan con el plan de trabajo establecido en la etapa de Planeación. Lo anterior se hace mediante reuniones de avance de proyecto e informe de indicadores. Esta fase se desarrolla periódicamente, semanal y mensualmente.

Tabla 47 - Actividades de la etapa de rutinas de PM

ITEM	TAREA	ENTREGABLE	RESPONSABLE	ENCARGADO	TIEMPO ESTIMADO
4.1	Reuniones	Listado de acciones	Líder del Proyecto	Varios	1 hora
4.2	Informe	Informe de avance de proyecto	Líder del Proyecto	Varios	No aplica

Fuente propia

7.5.1. Reuniones

Se propone hacer reuniones semanales y mensuales, en donde se informe el avance del proyecto al equipo y a las partes interesadas. El objetivo es tomar acciones de acuerdo al nivel de cumplimiento del proyecto, utilizando los indicadores propuestos en el plan de gestión de calidad, en el plan de gestión de costos y en el plan de gestión de tiempo.

7.6.1. Informes

Se propone enviar informes de avance del proyecto, los cuales deben incluir en los indicadores propuestos en el plan de gestión de calidad, en el plan de gestión de costos y en el plan de gestión de tiempo.

7.6. Fase de Culminación

La fase de culminación o de cierre comprende las actividades que se hacen cuando la ejecución del proyecto ha terminado. Consta de dos etapas las cuales son lecciones aprendidas y construcción del libro del proyecto. Esta etapa tiene una duración de 15 días.

Tabla 48 - Actividades de la fase de culminación

ÍTEM	TAREA	ENTREGABLE	RESPONSABLE	ENCARGADO	TIEMPO ESTIMADO
5.1	Lecciones aprendidas	Listado de lecciones aprendidas	Líder del Proyecto	Varios	1
5.2	Construcción del libro del proyecto	Libro del proyecto	Líder del Proyecto	Documentador	15

Fuente propia

7.6.1. Lecciones aprendidas

En esta actividad debe crearse un listado con todas las actividades que ayudaron al que el proyecto se cumpliera satisfactoriamente, y las buenas practicas que se aprendieron durante la planeación, ejecución y monitoreo y control del proyecto. Esta actividad tiene una duración de un día.

7.6.2. Construcción del libro del proyecto

Una vez se haya creado la lista de lecciones aprendidas, un documentador deberá consignar en un solo documento toda la información recopilada a lo largo del proyecto, desde la etapa de Apertura hasta la etapa de Culminación. La duración de esta actividad es de 15 días.

7.7. Cronograma propuesto

Figura 40. Diagrama de Gantt de la implementación 1/2

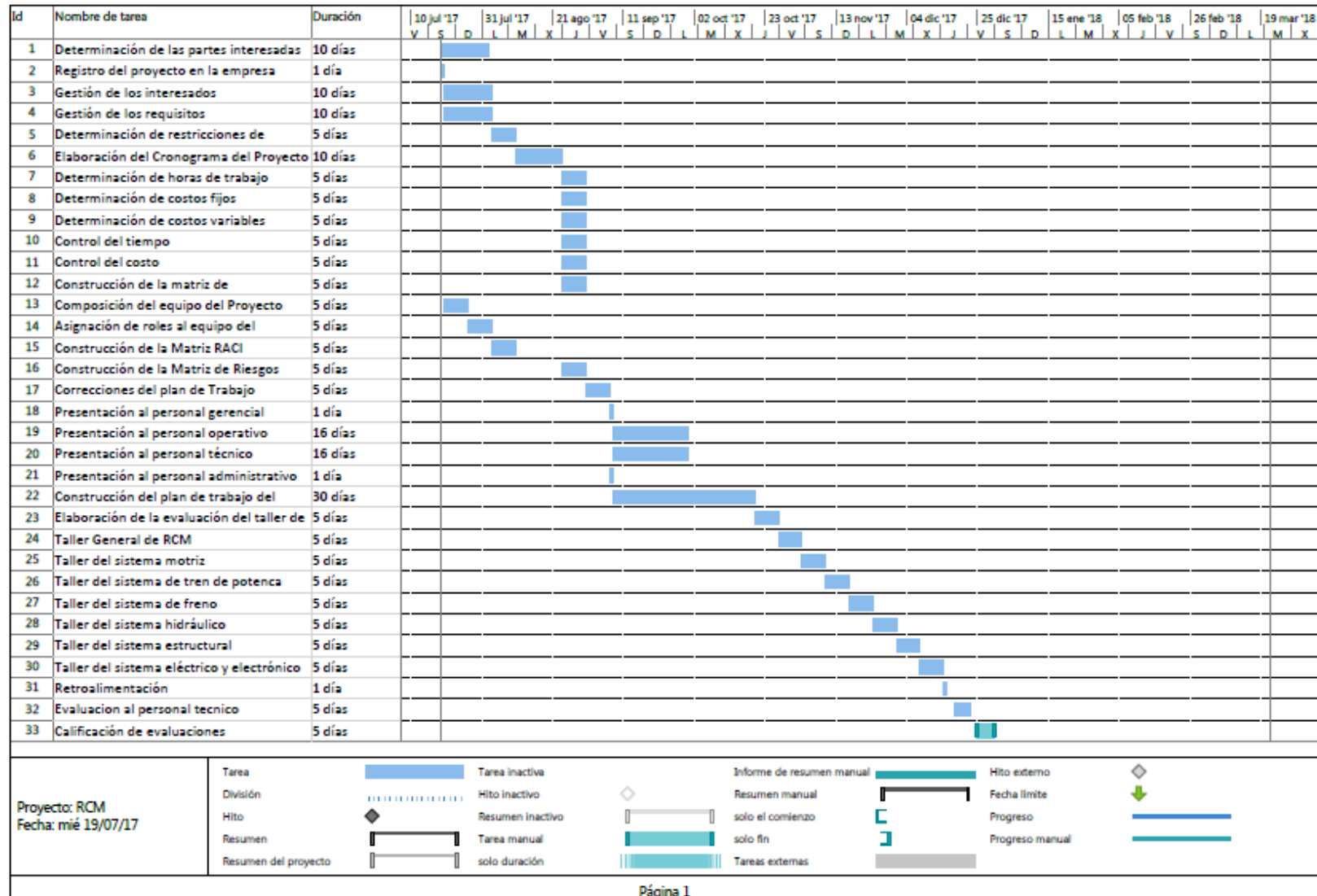
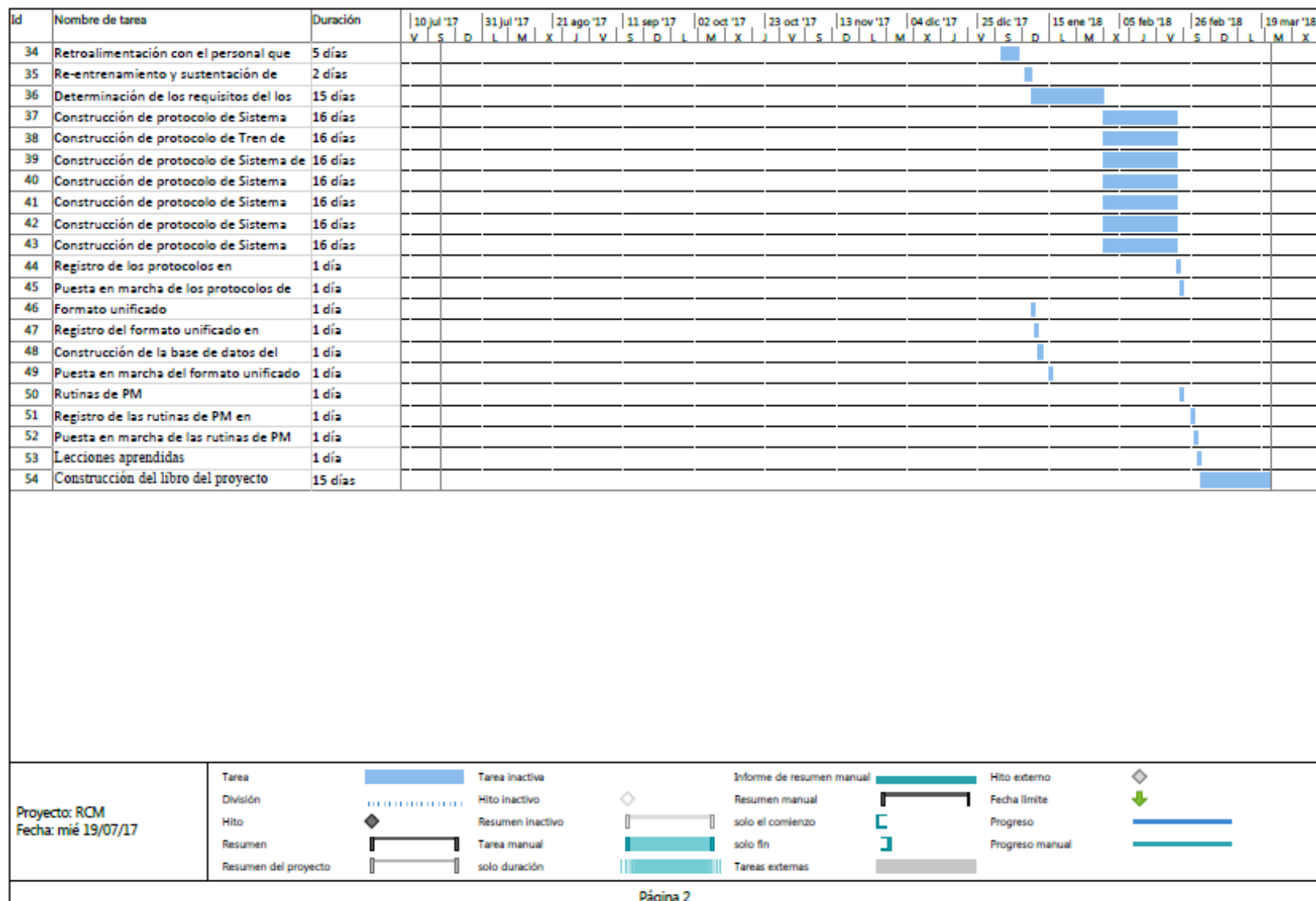


Figura 41. Diagrama de Gantt de la implementación 2/2

145



Conclusiones y recomendaciones

La metodología de mantenimiento basada en tiempo que se utiliza actualmente, hace que los costos asociados al inventario de los camiones sea considerablemente mayor que el del plan diseñado, ya que propone tareas de cambios periódicos sin importar la condición de los componentes, lo cual hace que el volumen de repuestos en bodega sea relativamente grande. Por otra parte, las acciones determinadas mediante el análisis de modos y efectos de falla, estableció que los componentes solamente deben cambiarse cuando no estén en capacidad de cumplir con su función, lo cual permite disminuir el inventario y el tiempo asociado a reemplazo de componentes, ayudando de esta manera a reducir costos en la unidad.

El plan de mantenimiento que se diseñó, estableció rutinas más uniformes respecto de las que se tienen actualmente. En el plan actual, la duración de las rutinas oscila entre cuatro y doce horas, mientras que las del plan diseñado están entre cinco y seis. Lo mencionado anteriormente, evidencia sobrecargas en tareas y tiempo de un PM respecto a otro en el plan actual. Se determinó que para aquellas tareas que tardan un tiempo considerable, debe aumentarse la cantidad de trabajadores para disminuir la duración de la intervención, lo cual aumenta las horas hombre requeridas pero disminuye el tiempo de parada del equipo por intervenciones preventivas, lo cual impacta positivamente en la disponibilidad de la flota.

En el plan de mantenimiento actual contiene dos análisis de monitoreo basado en condiciones, los cuales son, análisis de aceite y análisis de tintas penetrantes. El RCM determinó que debe realizarse un análisis de vibraciones para los rodamientos de los ejes

de transmisión, lo cual contribuye a determinar cuando éstos están próximos a fallar, permitiéndole al planificador o planner de mantenimiento, programar compras de rodamientos, reduciendo espacio en bodega y costos por almacenaje.

El tipo de formato y la forma de administrar los datos de los mantenimientos preventivos realizados actualmente, impide tener trazabilidad sobre el desgaste de los componentes del equipo. El formato unificado propuesto, permite gestionar mejor la información del monitoreo basado en condiciones, y de las tareas de mantenimiento que se realizan durante las rutinas, ya que deben anotarse los valores de los parámetros hallados durante la intervención, los comentarios del mantenedor, operador y del personal contratista que realiza el análisis de aceite y vibraciones. Además, los datos deben ser guardados en una base de datos de Excel, ya que actualmente se pierden en archivadores y no son analizados.

Se debe disponer de protocolos de mantenimiento que le indique a los técnicos como realizar su labor, ya que actualmente se comenten errores por malas intervenciones, principalmente porque cada mantenedor realiza su labor de diferente forma, lo cual hace necesario tener un estándar que muestre como hacer las tareas. De igual forma, los protocolos deben contener imágenes que ayuden a determinar el estado de un componente, tal como se muestra en la Figura 29, donde hay un estándar para los tapones magnéticos. Lo anterior le permite al técnico anotar mejores datos en los formatos de mantenimiento, ya que evaluar la condición del componente queda menos a su interpretación.

La reunión de desempeño que se hace actualmente, puede mejorarse mostrando los indicadores y gráficas propuestas en la implementación del plan. El MTBS, MTBF y MTTR, permitirán establecer que tan bien se está realizando el mantenimiento en la unidad. La gráfica de disponibilidad planeada se visualizaría mejor si se cambian los colores y se establece el patrón de semáforo como se expone en la Figura 34 en lugar de la que se muestra hoy en día (ver Figura 5). Al ver una barra en color rojo, quien asista a la reunión, identificará inmediatamente que el equipo asociado a dicha barra no cumplió con la disponibilidad programada.

Referencias bibliográficas

- [1] Cerro Matoso S.A. (2014). *Reporte de sostenibilidad 2015*. Montelibano. Retrieved from <http://www.fundacioncerromatoso.org/index.php/cerro-matoso/reporte-de-sostenibilidad-2015>
- [2] Nakajima, S. (1998). *Introduccion al TPM*. (P. P. Inc, Ed.) (1st ed.). Cambridge, Massachussets: Instituto Japonés de Mantenimiento de Plantas.
- [3] Moubray, J. (2004). *Reliability-Centred Maintenance (RCM)*. (Edwards Brothers, Ed.) (3rd ed.). Asheville: Aladon LLC.
- [4] SKF. (2017). Mantenimiento basado en riesgo. Retrieved April 1, 2017, from <http://www.skf.com/co/services/asset-management-services/asset-efficiency-optimisation/strategize/maintenance-strategy-review/risk-based-maintenance/index.html>
- [5] Caterpillar. (2017). Condition monitoring. Retrieved July 20, 2004, from http://www.cat.com/en_US/support/maintenance/condition-monitoring.html
- [6] Benedetti Silberman, I. M. (2006). *Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo basado en confiabilidad*. Universidad Simón Bolívar.
- [7] Flores, A. A., & Mccaherty, J. W. (2007). Mining Equipment Maintenance & Repair Processes.
- [8] Gecolsa. (2012). *Estrategia Monitoreo de Condiciones*.
- [9] Modular. (2017). Modular dispatch. Retrieved April 1, 2017, from <http://www.modularmining.com/es/product/dispatch/>
- [10] SAP. (2017). Condition monitoring. Retrieved April 1, 2017, from <https://www.sap.com/latinamerica/products/enterprise-management-erp.html>
- [11] Datamine. (2017). Datamine Software. Retrieved from <http://www.dataminesoftware.com/>
- [12] GLOBALSTANDARD. (1996). *Fundamentos para la gestión de proyectos (Guía del PMBOK)* (5th ed.). Pensilvania: Project Management Institute Inc.

Bibliografía

- Arzuaga, J. (2011). *Modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) en la flota de equipos de oruga DIIN de la empresa minera Drummond LTD*. Universidad Industrial de Santander.
- Benedetti Silberman, I. M. (2006). *Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo basado en confiabilidad*. Universidad Simón Bolívar.
- Caterpillar. (2017). Condition monitoring. Retrieved July 20, 2004, from http://www.cat.com/en_US/support/maintenance/condition-monitoring.html
- Cerro Matoso S.A. (2014). *Reporte de sostenibilidad 2015*. Montelibano. Retrieved from <http://www.fundacioncerromatoso.org/index.php/cerro-matoso/reporte-de-sostenibilidad-2015>
- Datamine. (2017). Datamine Software. Retrieved from <http://www.dataminesoftware.com/>
- Flores, A. A., & Mccaherty, J. W. (2007). Mining Equipment Maintenance & Repair Processes.
- Gecolsa. (2012). *Estrategia Monitoreo de Condiciones*.
- Lozada Martinez, A., & Martinez Vela, D. L. (2009). *Diseño y plan de implementación del modelo de gestión de proyectos dirigido a Soluziona Ltda – Bogota bajo esquema PMI*. Universidad de la Salle.
- Martínez, W., & Márquez, O. (2012). *Análisis RCM2 Cargador Caterpillar 990 II*. Universidad Tecnológica de Bolivar.
- Meléndrez, E. H. (2006). Metodología de la Investigación: Cómo escribir una Tesis. *Escuela Nacional de Salud Pública*, 1–51. Retrieved from <http://biblioteca.unives.com.mx/archive/files/8759ad901468b14dc2877a145c7c257e.pdf>
- Modular. (2017). Modular dispatch. Retrieved from <http://www.modularmining.com/es/product/dispatch/>
- Moubray, J. (2004). *Reliability-centred Maintenance (RCM)*. (Edwards Brothers, Ed.) (3rd ed.). Asheville: Aladon LLC.

- Nakajima, S. (1998). *Introduccion al TPM*. (P. P. Inc, Ed.) (1st ed.). Cambridge, Massachussetts: Instituto Japonés de Mantenimiento de Plantas.
- Ortiz, M. F. (2013). *Implementación de RCM en centros de maquinado Vigel*. Universidad Tecnológica de Querétaro.
- Professionals Society for Maintenance Reliability. (2013). *Maintenance and Reliability Body of Knowledge*.
- SAP. (2017). Condition monitoring. Retrieved from <https://www.sap.com/latinamerica/products/enterprise-management-erp.html>
- SKF. (2017). Mantenimiento basado en riesgo. Retrieved from <http://www.skf.com/co/services/asset-management-services/asset-efficiency-optimisation/strategize/maintenance-strategy-review/risk-based-maintenance/index.html>
- Villacrés, S. R. (2009). *Desarrollo de un plan de mantenimiento aplicando la metodología de mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM) para el vehiculo Hidrocleaner Vactor M654 de la empresa ETAPA EP*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- GLOBALSTANDARD. (1996). *Fundamentos para la gestión de proyectos (Guía del PMBOK)* (5th ed.). Pensilvania: Project Management Institute Inc.

Anexos

Anexo 1 - Modos y Efectos de Falla del Sistema Motriz

Función principal: Transmitir un torque de 1710 a 1800 RPM al tren de potencia

ITEM	FALLO FUNCIONAL	ITEM	MODO DE FALLA (CAUSA DE LA FALLA)	EFFECTOS DE LAS FALLAS (QUE SUCEDE CUANDO FALLO)
A	No transmite un torque de 1710 a 1800 RPM al tren de potencia	1	Combustible agotado	Si el nivel de combustible se baja a 5% de su capacidad, el equipo emite un aviso de bajo nivel de combustible en el Advisor, la aguja del indicador análogo se ubica en la zona roja, si no se suministra a tiempo, se incrementa la temperatura del combustible, cuando sea igual a 107 °C se emite una alarma de temperatura de combustible en el advisor. el motor se apaga. Se avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para suministrar combustible, desairar el sistema y dar arranque a la máquina demora hasta dos horas si el carro servicio tiene otras prioridades, si el carro servicio está disponible 20 minutos
A	No transmite un torque de 1710 a 1800 RPM al tren de potencia	2	Sistema de combustible en falla	Ver análisis del sistema de combustible
A	No transmite un torque de 1710 a 1800 RPM al tren de potencia	3	Sistema eléctrico falla	Ver análisis del sistema eléctrico
A	No transmite un torque de 1710 a 1800 RPM al tren de potencia	4	ECM del motor falla	Todas las señales de entrada al ECM no las reconoce, y el ECM del motor no envía señales de salida, emite un código de falla MID 161-0590- FMI14 "modulo de control electrónico en falla "no hay señal eléctrica para actuar los inyectores, el camión no da encendido. El proceso de acarreo se detiene. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar el ECM del motor, programar el ECM del motor y colocar en funcionamiento 16 horas aproximadamente
A	No transmite un torque de 1710 a 1800 RPM al tren de potencia	5	Aceite de lubricación del motor no instalado	Esto solo sucede luego de un mantenimiento o una reparación. Si el cárter de aceite se queda vacío en el momento de encendido del equipo no da arranque, se activa alarma de nivel 3 en el advisor y en panel de instrumentos "bajo nivel de aceite del motor, ECM del VIMS ppal. genera MID 061- CID E72 y el ECM del motor genera un código de evento MID036 -CID E540 " bajo nivel de aceite, adicionar" reporta a base y base a mantenimiento. Tiempo para suministrar el aceite de motor y colocar en funcionamiento una hora si el carro servicio está disponible.
A	No transmite un torque de 1710 a 1800 RPM al tren de potencia	6	Sistema de admisión y escape falla	Ver análisis del sistema admisión y escape
A	No transmite un torque de 1710 a 1800 RPM al tren de potencia	7	Volanta del motor fatigada	El trabajo del motor, el diseño de fabrica, los malos ajustes y la resistencia del material, pueden fatigar la volanta del motor y en algún momento se fractura y pierde la conexión con el convertidor y no hay transmisión de torque al sistema de tren de potencia. Se presenta ruido fuerte en el componente. Hay indicación de cero RPM en el panel de instrumentos. El camión se detiene. Hay

				riesgo de daños internos del motor por el desprendimiento de partes. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para cambiar la volante y colocar en funcionamiento 32 horas y si hay daños mayores se requiere bajar el motor que demora 4 turnos de 12 horas, 48 horas.
A	No transmite un torque de 1710 a 1800 RPM al tren de potencia	8	Torque del tornillo de la volante inadecuado	Después de una intervención (reparación) de mantenimiento es posible que los tornillos de sujeción de la volante queden con un torque incorrecto al requerido en algún momento los pueden aflojarse o partirse y la volante del motor pierde la conexión con el convertidor y no hay transmisión de torque al sistema de tren de potencia. Se presenta ruido fuerte en el componente. Hay indicación de cero RPM en el panel de instrumentos. El camión se detiene. Hay riesgo de daños internos del motor por el desprendimiento de partes. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para cambiar la volante y colocar en funcionamiento 32 horas y si hay daños mayores se requiere bajar el motor que demora 4 turnos de 12 horas, 48 horas.
A	No transmite un torque de 1710 a 1800 RPM al tren de potencia	9	Interruptor de parada de emergencia activado	En algún momento alguien puede accionar el interruptor de parada de emergencia, este a su vez envía una señal al ECM del motor y este corta la entrega de combustible a los inyectores. El motor no da encendido, el proceso de acarreo no da inicio. Avisa a base y base a mantenimiento. El proceso de acarreo se detiene. Tiempo para diagnosticar y reestablecer el interruptor de parada de emergencia y colocar en funcionamiento puede demorar hasta 8 horas.
A	No transmite un torque de 1710 a 1800 RPM al tren de potencia	10	Sensor de velocidad y tiempo primario falla	Si el sensor de velocidad y tiempo primario está falla se pierde señal de sincronización entre el sensor y el ECM del motor, por lo tanto el ECM del motor no envía la señal de inyección de combustible a los inyectores. El motor no da arranque. Se emite un código activo en el advisor de "sensor de velocidad y tiempo primario en falla" MID 036 CID190-08. Se suspende el proceso de acarreo. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar el sensor de velocidad y tiempo primario y colocar en funcionamiento 4 horas.
A	No transmite un torque de 1710 a 1800 RPM al tren de potencia	11	Palanca de cambios activada	Si la palanca de cambios no está ubicada en la posición de estacionamiento, al momento de dar arranque al equipo el ECM de la transmisión monitorea la posición de la palanca a través del CAT DATA LINK al encontrar el cambio puesto desactiva la señal que activa el relay auxiliar del motor de arranque. El motor no da arranque. Se suspende el proceso de acarreo. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, colocar la palanca en posición de estacionamiento y colocar en funcionamiento 1 hora.
A	No transmite un torque de 1710 a 1800 RPM al tren de potencia	12	Interruptor de encendido desgastado	la contaminación y el uso van desgastando los componentes internos de él interruptor de encendido, en algún momento al ingresar la llave de encendido y dar el giro para el starte, el tambor de la llave gira libremente sin mover los elementos de contacto para dar encendido. El equipo no enciende. El proceso de acarreo no se inicia. Avisa base y base a mantenimiento. Tiempo para cambiar el interruptor de encendido y colocar en funcionamiento 4 horas.
A	No transmite un torque de 1710 a 1800 RPM al tren de potencia	13	Circuito de activación del Starte al ECM de la transmisión falla abierto	Cuando el circuito de activación del starte al ECM de la transmisión se encuentra abierto se genera código MID 87 CID 444-6 en el advisor, "relay de starte o relay de motor de arranque corriente bajo de lo normal". Al ingresar la llave no da señal de arranque. El equipo no enciende. El proceso de acarreo se detiene. Avisa base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, reparar el circuito del interruptor de encendido y colocar en funcionamiento 8 horas.

A	No transmite un torque de 1710 a 1800 RPM al tren de potencia	14	Relay del circuito de activación del starte al ECM de la transmisión falla abierto	La temperatura, la operación, entre otros generan un calentamiento del aislante del relay del circuito de activación del starte al ECM de la transmisión, en cualquier momento las partes internas del relay se aíslan y se genera código MID 87 CID 444-6 en el advisor, "relay de starte o relay de motor de arranque corriente bajo de lo normal". Al ingresar la llave no da señal de arranque. El equipo no enciende. El proceso de acarreo se detiene. Avisa base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, reparar el circuito del interruptor de encendido y colocar en funcionamiento 8 horas.
A	No transmite un torque de 1710 a 1800 RPM al tren de potencia	15	Engranaje de sincronización fatigado	Temperatura de por debajo de lo requerido, la falta de lubricación, los sobre revolución, el material, tiempo de trabajo, hacen que los dientes de los piñones de sincronización se fatiguen y en algún momento se fracturan los dientes y se pierde la sincronización y el ECM del motor protege el motor y lo apaga. Hay ruido anormal en el área del motor. Se registra evento en Advisor de " Motor fuera de velocidad", código MID 036 CID E362. El acarreo se detiene. Informa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar el motor si hay en bodega, y colocar en funcionamiento 48 horas y si hay que esperar la reparación hasta 90 días.
A	No transmite un torque de 1710 a 1800 RPM al tren de potencia	16	Cigüeñal y ejes de levas fatigados	Temperatura por debajo de lo requerido, la falta de lubricación, el material, tiempo de trabajo, hacen que los cojinetes y muñones se fatiguen y en algún momento se fracturan el cigüeñal o el eje de leva, se parten y se pierde la sincronización y daña los componentes internos del motor y el ECM del motor lo apaga. Hay ruido anormal en el área del motor. Se registra evento en Advisor de " datos erráticos del sensor de velocidad". hay riesgo de rutura y derrame de aceite al ambiente . El acarreo se detiene. Informa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar el motor si hay en bodega, y colocar en funcionamiento 48 horas y si hay que esperar la reparación hasta 90 días.
A	No transmite un torque de 1710 a 1800 RPM al tren de potencia	17	Mecanismos internos del motor de arranque desgastados	La fricción y los esfuerzos entre el motor de arranque y la volante del motor van desgastando los mecanismos internos y en algún momento cuando el operador da encendido al equipo el motor de arranque no alcanza a dar las revoluciones necesarias para dar encendido al motor diésel. El motor no prende. El acarreo se detiene, se registra un código en el advisor "Voltaje sistema eléctrico bajo" MID 053 CID 168-04 Informa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar el motor de arranque y colocar en funcionamiento hasta 8 horas.
A	No transmite un torque de 1710 a 1800 RPM al tren de potencia	18	Interruptor máster falla abierto	Luego de una intervención de mantenimiento el interruptor máster o desconexión de baterías se puede aislar internamente. Cuando se va iniciar la operación del equipo el motor no da arranque porque no hay corriente eléctrica en el sistema. El motor no prende. Se atrasa la entrega del equipo a la mina. Tiempo para diagnosticar, cambiar el interruptor máster y colocar en funcionamiento 4 horas.
A	No transmite un torque de 1710 a 1800 RPM al tren de potencia	19	Fusible térmico de 15 A de alimentación del ECM del motor falla abierto	Si en algún momento se presenta un daño en el fusible de 15 A se abre lo que produce una interrupción en el flujo de corriente hacia el ECM del motor, el cual apagará el motor diésel y el ECM de la transmisión inmediatamente activa la dirección secundaria. El equipo es detenido y el proceso de acarreo se suspende. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo diagnosticar, cambiar el fusible térmico de 15 A de alimentación del ECM del motor y colocar en funcionamiento hasta 8 horas.

A	No transmite un torque de 1710 a 1800 RPM al tren de potencia	20	Breaker de 90 A de alimentación de la máquina falla abierto	Si en algún momento se presenta un daño en el breaker de 90 A se abre y produce una interrupción en el flujo de corriente hacia el relay principal o un corto circuito a tierra de la línea de alimentación a la máquina. El equipo es detenido y el proceso de acarreo se suspende. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo diagnosticar, resetear el breaker de 90 A de alimentación a la máquina y colocar en funcionamiento hasta 8 horas
A	No transmite un torque de 1710 a 1800 RPM al tren de potencia	21	Fusible de 10 A del interruptor de encendido de la máquina falla abierto	Si en algún momento se presenta un daño en el fusible este se abre, produciendo una interrupción en el flujo de corriente de la caja de fusibles hacia el circuito del interruptor de encendido. Lo que deshabilita el funcionamiento los ECM de la máquina. La máquina se apaga. El proceso de acarreo se suspende. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo diagnosticar, cambiar el fusible de 10 A de alimentación al interruptor de encendido y colocar en funcionamiento hasta 8 horas.
A	No transmite un torque de 1710 a 1800 RPM al tren de potencia	22	Fusible de 15 A de alimentación del ECM de la transmisión falla abierto	Si en algún momento se presenta un daño en el fusible de 15 A este se abre, produciendo una interrupción en el flujo de corriente hacia el ECM de la transmisión, en el momento de encender la máquina no da encendido porque no llega corriente al relay de encendido del motor de arranque. El proceso de acarreo se detiene. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo diagnosticar, cambiar el fusible de 15 A de alimentación del ECM de la transmisión y colocar en funcionamiento hasta 8 horas.
A	No transmite un torque de 1710 a 1800 RPM al tren de potencia	23	Relay mainpower falla	En cualquier momento el relay mainpower se aísla no alimenta el circuito de inicio de la máquina, (los ECM de la máquina, cajas de fusibles, relay menores y accesorios). El motor diésel no enciende y no alimenta los accesorios de la máquina. El proceso de acarreo se suspende. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar el relay mainpower y colocar en funcionamiento demora hasta 8 horas.

Anexo 2 - Modos y Efectos de Falla del Sistema de Potencia

Función principal: Desplazar el equipo hacia adelante una velocidad máximo a 40 kph y hacia atrás a una velocidad máxima de 10 kph.

ITEM	FALLO FUNCIONAL	ITEM	MODO DE FALLA (CAUSA DE LA FALLA)	EFFECTOS DE LAS FALLAS (QUE SUCEDE CUANDO FALLO)
A	No desplaza el camión hacia adelante	1	Falla motor diésel	Ver análisis del sistema motriz
A	No desplaza el camión hacia adelante	2	Falla sistema eléctrico (Ausencia de 24 voltios en el tren de potencia)	Ver análisis del sistema eléctrico
A	No desplaza el camión hacia adelante	3	Bomba de carga del convertidor desgastada	La fricción, la temperatura y el uso van desgastando los componentes internos de la bomba (engranajes) hasta llegar el punto de perder presión de trabajo. Cuando la bomba de carga del convertidor pierde la presión de trabajo no hay presión de aceite para mover el impeler del convertidor, no hay mando convertidor ni mando directo y se pierde la transmisión de movimiento, el equipo no desplaza y el proceso de acarreo se suspende. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar la bomba de carga del convertidor y colocar en funcionamiento 16 horas.
A	No desplaza el camión hacia adelante	4	Sumidero del convertidor dejado vacío	Luego de una intervención de mantenimiento es posible que no se suministre aceite SAE 30 y convertidor queda vacío, en el momento de dar encendido al equipo se emitirá una alarma de nivel 3 de bajo nivel de aceite de la transmisión, se registra un código en el Advisor MID 087 CID E-531 "bajo nivel de aceite de la transmisión". El equipo es apagado. Se retrasa la entrega del equipo a operación. Tiempo para diagnosticar, suministrar aceite a la transmisión y colocar en funcionamiento demora 1 hora.
A	No desplaza el camión hacia adelante	5	Yoke del convertidor fatigado	La carga, la torsión que ejerce para transmitir el movimiento a la transmisión van generando fatiga en el yoke, en cualquier momento se puede fracturar y genera daños catastróficos en los componentes del tren de potencia, el equipo suspende su desplazamiento, hay fugas de aceite hidráulicos por rotura de componentes y líneas alrededor del cardán. Se suspende el proceso de acarreo. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar el yoke del convertidor, más el tiempo para reparar los daños secundarios, demora hasta 36 horas.
A	No desplaza el camión hacia adelante	6	Cruceta del convertidor desgastada	La carga, la torsión que ejerce para transmitir el movimiento a la transmisión, la humedad, entre otros van desgastando las partes móviles de las crucetas del convertidor, con el uso el desgaste genera que la cruceta se desarme, esto ocasiona daños catastróficos en los componentes del tren de potencia, el equipo suspende su desplazamiento, hay fugas de aceite hidráulicos por rotura de componentes y líneas alrededor del cardán. Se suspende el proceso de acarreo. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar la cruceta del convertidor, más el tiempo para reparar los daños secundarios, demora hasta 36 horas.

A	No desplaza el camión hacia adelante	7	Eje cardán dejado desalineado	Después de una intervención de mantenimiento es posible que se instale desalineado el eje cardán entre las crucetas, con el desplazamiento se genera vibración, acelera el desgaste prematuro de las crucetas y en el algún momento la cruceta se sale de su alojamiento, esto ocasiona daños catastróficos en los componentes del tren de potencia, el equipo suspende su desplazamiento, hay fugas de aceite hidráulicos por rotura de componentes y líneas alrededor del cardán. Se suspende el proceso de acarreo. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar el eje cardán, más el tiempo para reparar los daños secundarios, demora hasta 36 horas.
A	No desplaza el camión hacia adelante	8	Tornillos de la cruceta del convertidor con torque inadecuado	Al realizar un cambio de crucetas es posible que los tornillos de sujeción queden con un torque inadecuado, con el desplazamiento se genera vibración, los tornillos sufren fracturan o se aflojan y en el algún momento la cruceta se parte, esto ocasiona daños catastróficos en los componentes del tren de potencia, el equipo suspende su desplazamiento, hay fugas de aceite hidráulicos por rotura de componentes y líneas alrededor del cardán. Se suspende el proceso de acarreo. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar el cambiar la cruceta del convertidor, cambiar eje cardán, más el tiempo para reparar los daños secundarios, demora hasta 36 horas.
A	No desplaza el camión hacia adelante	9	Cruceta del convertidor instalada fuera de la ranura de acople	Durante una intervención de mantenimiento es posible que se realice mal el procedimiento de instalación de la cruceta, estas quedan instaladas por fuera de la ranura donde entran las guías de la cruceta, por este motivo los tornillos dan un falso torque, con el movimiento y la vibración los tornillos se parten, y en algún momento la cruceta se fractura, esto ocasiona daños catastróficos en los componentes del tren de potencia, el equipo suspende su desplazamiento, hay fugas de aceite hidráulicos por rotura de componentes y líneas alrededor del cardán. Se suspende el proceso de acarreo. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar el cambiar la cruceta del convertidor, cambiar eje cardán, más el tiempo para reparar los daños secundarios, demora hasta 36 horas.
A	No desplaza el camión hacia adelante	10	Junta deslizante (botella) del eje cardán dejada sin lubricación	Después de una intervención de mantenimiento es posible que la junta deslizante (botella) del eje cardán no se lubrique ocasionando un desgaste prematuro de la junta por falta de grasa, en cualquier momento sufre rotura, generando daños catastróficos en los componentes del tren de potencia, el equipo suspende su desplazamiento, hay fugas de aceite hidráulicos por rotura de componentes y líneas alrededor del cardán. Se suspende el proceso de acarreo. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar el cambiar la cruceta del convertidor, cambiar eje cardán, cambiar la junta deslizante del eje cardán, más el tiempo para reparar los daños secundarios, demora hasta 36 horas.
A	No desplaza el camión hacia adelante	11	Eje cardán desgastado	La fricción del eje cardán, la vibración, los altos impactos de transmisión de torque van ocasionando desgaste en las estrías que unen la botella con el eje cardán, en cualquier momento sufre rotura, generando daños catastróficos en los componentes del tren de potencia, el equipo suspende su desplazamiento, hay fugas de aceite hidráulicos por rotura de componentes y líneas alrededor del cardán. Se suspende el proceso de acarreo. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar el cambiar la cruceta del convertidor, cambiar eje cardán, cambiar la junta deslizante del eje cardán, más el tiempo para reparar los daños secundarios, demora hasta 36 horas.
A	No desplaza el camión hacia adelante	12	Cruceta de entrada de la transmisión desgastada	La carga, la torsión que recibe del eje cardán, la humedad, entre otros van desgastando los rodamientos de las crucetas de la transmisión, el desgaste genera que la cruceta se desarme en el momento de máxima torsión, esto ocasiona daños catastróficos en los componentes del tren de potencia, el equipo suspende su desplazamiento. Se suspende el proceso de acarreo. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para

				diagnosticar, cambiar la cruceta del convertidor, más el tiempo para reparar los daños secundarios, demora hasta 36 horas.
A	No desplaza el camión hacia adelante	13	Tornillos de la cruceta de entrada de la transmisión con torque inadecuado	Al realizar un cambio de crucetas es posible que los tornillos de sujeción queden con un torque inadecuado, con el desplazamiento se genera vibración, los tornillos sufren fracturas o se aflojan, esto ocasiona daños catastróficos en los componentes del tren de potencia, el equipo suspende su desplazamiento. Se suspende el proceso de acarreo. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar la cruceta de la transmisión, más el tiempo para reparar los daños secundarios, demora hasta 36 horas.
A	No desplaza el camión hacia adelante	14	Yoke de entrada a la transmisión fatigado	La carga, la torsión que se ejerce sobre el yoke al recibir el movimiento del convertidor a través del eje cardán, van generando fatiga en el yoke de la entrada a la transmisión, en cualquier momento se puede fracturar y genera daños catastróficos en los componentes del tren de potencia, el equipo suspende su desplazamiento. Se suspende el proceso de acarreo. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar el yoke de entrada a la transmisión, más el tiempo para reparar los daños secundarios, demora hasta 36 horas.
A	No desplaza el camión hacia adelante	15	Cruceta de la transmisión instalada fuera de la ranura de acople	Durante una intervención de mantenimiento es posible que se realice mal el procedimiento de instalación de la cruceta de la transmisión, estas quedan instaladas por fuera de la ranura donde entran las guías de la cruceta, por este motivo los tornillos dan un falso torque, con el movimiento y la vibración los tornillos se parten, y en algún momento la cruceta se fractura, esto ocasiona daños catastróficos en los componentes del tren de potencia, el equipo suspende su desplazamiento. Se suspende el proceso de acarreo. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar el cambiar la cruceta de la transmisión, cambiar eje cardán, más el tiempo para reparar los daños secundarios, demora hasta 36 horas.
A	No desplaza el camión hacia adelante	16	Conector de la solenoide de los embragues sulfatado	La humedad, los cambios de temperatura van creando sulfatación en el conector de alimentación a las solenoides de los embragues de la transmisión, en algún momento los contactos se aíslan. Cuando se accione la palanca de los cambios no llega la señal del ECM de la transmisión a las solenoides para activar la marcha seleccionada. El equipo no se desplaza. Se genera un código en el advisor de "corriente sobre lo normal" MID 087 CID 050. Se suspende el proceso de acarreo. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, limpieza del conector y colocar en funcionamiento demora 4 horas.
A	No desplaza el camión hacia adelante	17	Conector de la solenoide de los embragues con torque inadecuado	Después de una intervención de cambio de transmisión el conector principal de las solenoides de la transmisión pueden quedar instaladas con torque inadecuado, la vibración, el movimiento, condiciones del terreno y la humedad van aflojando y en el algún momento se desacopla, se pierde el flujo de corriente que activa las solenoides de los embragues. Al accionar la palanca de cambios el equipo no responde y se neutraliza, se registran códigos múltiples en el advisor enviados por el ECM de la transmisión. El proceso de acarreo se detiene. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, limpiar los conectores del arnés y de la transmisión, se ajusta y se tornea y colocar en funcionamiento 4 horas.
A	No desplaza el camión hacia adelante	18	Bomba de carga de la transmisión desgastada	La fricción y la temperatura van desgastando los componentes internos de la bomba de transmisión, la presión de la bomba va disminuyendo y cuando sea inferior a 250 psi no hay presión para enganchar los embragues internos de la transmisión y el camión se neutraliza. El equipo no responde al cambio seleccionado a través de la palanca. El proceso de acarreo se suspende. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar la bomba de transmisión y colocar en funcionamiento 16 horas.

A	No desplaza el camión hacia adelante	19	Circuito de control de válvulas de la transmisión abierto ó corto circuito a tierra	El roce con la estructura o chasis de la máquina van desgastando el aislamiento del arnés, haciendo que las líneas de alimentación del control de las válvulas de la transmisión se abran o queden en corto circuito a tierra. Se registra un código en el advisor, MID O87 CID 1401-03/04/05. Cuando se selecciona un cambio el ECM de la transmisión no envía la señal porque el arnés se encuentra en falla. No hay activación de las válvulas de control para las diferentes marchas de la transmisión. El camión no desplaza. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, reparar el circuito de control de válvulas de la transmisión y colocar en funcionamiento 12 horas.
A	No desplaza el camión hacia adelante	20	Embragues y engranajes internos de la transmisión desgastados	La fricción, la temperatura y el uso van desgastando los embragues de la transmisión, se va perdiendo el enganche entre los embragues, en algún momento se deslizan y no permiten la transmisión del movimiento para desplazar el camión. El proceso de acarreo se suspende. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, remolcar la máquina al taller, cambiar la transmisión y colocar en funcionamiento 40 horas.
A	No desplaza el camión hacia adelante	21	Embragues y engranajes internos de la transmisión con aceite con aceite contaminado	El ingreso de agua y silicio, la alta temperatura, partículas mayores a 40 micras contaminan el aceite de la transmisión, el aceite pierde su viscosidad y los aditivos, acelera el desgaste los embragues y engranajes de la transmisión, se va perdiendo el enganche entre los embragues, en algún momento se deslizan y no permiten la transmisión del movimiento para desplazar el camión. Además el filtro de la transmisión se obstruye. El proceso de acarreo se suspende. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, remolcar la máquina al taller, cambiar la transmisión y colocar en funcionamiento 40 horas.
A	No desplaza el camión hacia adelante	22	Eje de los mandos finales ausentes.	Después de un over haul de cambio de mandos finales o de diferencial es posible que no se instalen los ejes de los mandos finales, se pierde la transmisión de movimiento del diferencial a los mandos finales. Cuando se acciona la palanca de los cambios el camión no se desplaza. Se retrasa la entrega de la máquina a operaciones. Tiempo para diagnosticar, colocar los ejes de los mandos finales y colocar en funcionamiento 1 hora.
A	No desplaza el camión hacia adelante	23	ECM de la transmisión o chasis dañado	Cuando el ECM de la transmisión se daña se registra un código en el advisor MID 087 CID, si la máquina está prendida se neutraliza y si está apagada no enciende la máquina. El proceso de acarreo se suspende. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar el ECM de la transmisión y colocar en funcionamiento 8 horas si hay el ECM en stock, si hay que comprarlo demora hasta 48 horas.
A	No desplaza el camión hacia adelante	24	Diferencial dejado sin aceite	Después de una intervención de mantenimiento o un over haul es posible que no se adicione aceite al diferencial y cuando se de encendido al equipo se genera una alarma de nivel 3 y en advisor se genera el código MID 087 CID E-664, “Parar de manera segura la máquina”. por que el nivel de aceite en diferencial es inferior a 50% durante 5 s. La tarea de mantenimiento se retrasa. Colocar aceite al diferencial y colocar en funcionamiento 1 hora.
A	No desplaza el camión hacia adelante	25	Piñón solar del eje ausente	Después de un cambio de mando final es posible que no se instale el piñón solar del eje del mando final, se pierde la transmisión de movimiento entre eje y el mando final, por lo tanto el equipo no desplaza. Se retrasa la tarea de mantenimiento. Tiempo para instalar el piñón solar del eje del mando final y colocar en funcionamiento 1 hora.

A	No desplaza el camión hacia adelante	26	Interruptor de freno de parqueo abierto o en corto	Si el interruptor de freno de parqueo se daña abierto o en corto se genera un código de falla en el advisor de "falla interruptor de freno de parqueo" MID 027 CID 0070. El interruptor de freno de parqueo dañado no envía la señal al ECM de la transmisión para que este envíe la señal a la solenoide de freno de parqueo para desaplicarlo. El freno de parqueo queda activo y no hay paso de aceite al interruptor de presión de aceite de freno de parqueo, y por esta razón no hay señal al ECM de la transmisión para activar las marchas. el camión queda neutralizada. El proceso de mantenimiento de vías de la mina y frentes se suspende. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar el interruptor de freno de parqueo y colocar funcionamiento, 2 horas.
A	No desplaza el camión hacia adelante	27	Circuito del interruptor de freno de parqueo abierto	Si el circuito del interruptor de freno de parqueo se daña abierto se genera un código de falla en el advisor de "falla interruptor de freno de parqueo" MID 027 CID 0070. El interruptor de freno de parqueo no envía la señal al ECM de la transmisión para que este envíe la señal a la solenoide de freno de parqueo para desaplicarlo. El freno de parqueo queda activo y no hay paso de aceite al interruptor de presión de aceite de freno de parqueo, y por esta razón no hay señal al ECM de la transmisión para activar las marchas. el camión queda neutralizada. El proceso de mantenimiento de vías de la mina y frentes se suspende. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, reparar el circuito del interruptor de freno de parqueo y colocar funcionamiento 16 horas.
A	No desplaza el camión hacia adelante	28	Bobina de la solenoide del freno de parqueo abierta	La bobina de la solenoide del freno de parqueo abierta genera y registra código de falla en el advisor MDI 027 CID 0681 "falla en la solenoide del freno de parqueo". Esta falla no permite el paso de presión de aceite para activar el interruptor de presión del freno de parqueo para que este le envíe la señal de freno liberado al ECM de la transmisión. El ECM de la transmisión mantiene la señal de freno de parqueo activo y por esta razón no hay señal al ECM de la transmisión para activar las marchas. el camión queda neutralizada. El proceso de mantenimiento de vías de la mina y frentes de cargue se interrumpe. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar la válvula solenoide del freno de parqueo y colocar funcionamiento, 10 horas, si el repuesto está en el almacén.
A	No desplaza el camión hacia adelante	29	Válvula de la solenoide del freno de parqueo atascada cerrada	La temperatura, la contaminación y el desgaste hacen que la válvula de la solenoide del freno de parqueo se atasque en posición cerrada. Esta falla no permite el paso de presión de aceite para activar el interruptor de presión del freno de parqueo para que este le envíe la señal de freno liberado al ECM de la transmisión. El ECM de la transmisión mantiene la señal de freno de parqueo activo y por esta razón no hay señal al ECM de la transmisión para activar las marchas. el camión queda neutralizada. El proceso de mantenimiento de vías de la mina y frentes de cargue se interrumpe. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar la válvula solenoide del freno de parqueo y colocar funcionamiento, 10 horas, si el repuesto está en el almacén.
A	No desplaza el camión hacia adelante	30	Rodamientos de las ruedas delanteras desgastado	La fricción, la temperatura y la contaminación van desgastando los rodamientos de las ruedas delanteras, en algún momento el rodamiento se destruye y frena la rueda. Hay riesgo que la rueda se salga y riesgo de colisión. El proceso de acarreo es detenido. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar el paquete de rueda delantera, agregar aceite y colocar en funcionamiento 20 horas
A	No desplaza el camión hacia adelante	31	Aditivos de aceite de rodamientos de las ruedas delanteras deteriorados	La fricción, la temperatura y la contaminación van desgastando el aceite y los aditivos se agotan y el aceite pierde la viscosidad, lo que acelera el desgaste de los rodamientos de las ruedas delanteras, en algún momento el rodamiento se destruye y frena la rueda. Hay riesgo que la rueda se salga y riesgo de colisión. El proceso de acarreo es detenido. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar el paquete de rueda delantera, agregar aceite y colocar en funcionamiento 20 horas

A	No desplaza el camión hacia adelante	32	Aceite de los rodamientos de la ruedas delanteras contaminado	Daños en los paquetes de frenos producen fuga de aceite hacia la rueda delantera, o daño de la tapa, hacen que ingrese contaminación a la rueda delantera y el aceite se contamine y pierda la viscosidad y aditivos, lo que acelera el desgaste de los rodamientos de las ruedas delanteras, en algún momento el rodamiento se destruye y frena la rueda. Hay riesgo que la rueda se salga y riesgo de colisión. El proceso de acarreo es detenido. Avisa a base y a base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar el paquete de rueda delantera, agregar aceite y colocar en funcionamiento 20 horas
A	No desplaza el camión hacia adelante	33	Sistema de dirección en falla	Ver sistema de dirección
A	No desplaza el camión hacia adelante	34	Manguera o tubo de succión de la bomba de carga de la transmisión obstruido con objeto extraño	Después de una intervención de mantenimiento pueden quedar objetos extraños en el depósito de aceite de la transmisión, que pueden tapan la manguera de succión de la bomba de la transmisión, obstruyendo el flujo de aceite del depósito hacia la bomba de la transmisión, aumenta el riesgo de que la bomba Cavite y se dañe. No hay suministro de presión de aceite a los embragues de la transmisión. Cuando sea accionado el interruptor direccional de la transmisión para desplazar el camión, este envía la señal al ECM de la transmisión y el ECM de la transmisión energiza las solenoides para dar paso de aceite a los embragues de la transmisión, como no hay presión de aceite la obstrucción en la succión de la bomba de carga, no hay presión para generar el acople entre los discos y platos y generar el movimiento de salida de la transmisión. el camión queda neutralizada. El proceso de mantenimiento de vías de la mina y frentes de cargue se interrumpe. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar la manguera, limpiar el sistema y colocar funcionamiento 16 horas. Y más tiempo de cambiar la bomba de la transmisión si se daña.
A	No desplaza el camión hacia adelante	35	Válvula de alivio principal de la transmisión atascada abierta a tanque	La temperatura, la contaminación y el desgaste hacen que la válvula de alivio principal de la transmisión se atasque en posición abierta a tanque. La presión de aceite suministrada por la bomba de carga se drena a tanque porque la válvula de alivio está abierta a tanque lo que produce una baja presión de aceite y no se logra el acople entre los discos y platos de los embragues de la transmisión para generar el movimiento de salida de la transmisión. el camión queda neutralizada. El proceso de vías de la mina y frentes de cargue se interrumpe. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambia la válvula de alivio principal de la transmisión y colocar funcionamiento 8 horas.
A	No desplaza el camión hacia adelante	36	Rodamientos de los ejes de transmisión desgastados	La operación, la fricción, entre otros, desgastan los rodamientos de los ejes de la transmisión, a medida que se desgastan aumenta la vibración, la temperatura y en algún momento frenan y hay agarrotamiento mecánico en la transmisión, pérdida de movimiento con el eje cardán y no hay transmisión de movimiento. Cuando sea accionado el interruptor direccional de la transmisión para desplazar el camión, este envía la señal al ECM de la transmisión y el ECM de la transmisión energiza las solenoides para dar paso de aceite a los embragues de la transmisión, como no hay movimiento en el eje de salida de la transmisión con el eje cardán. el camión queda neutralizada. El proceso de mantenimiento de vías de la mina y frentes de cargue se interrumpe. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar la transmisión y colocar funcionamiento 3 días de tres turnos. Si la transmisión se encuentra en el almacén, sino demora 15 días.

A	No desplaza el camión hacia adelante	37	Piñón de ataque (speed) del diferencial desgastado	El trabajo, la fricción, y contacto permanente, entre otros, desgastan la estría y los dientes del piñón de ataque del diferencial, aumenta la vibración y en algún momento se desliza, hay pérdida del engranaje con el eje cardán, no hay transmisión de movimiento entre la transmisión y el diferencial. Cuando sea accionado el interruptor direccional de la transmisión para desplazar el camión, este envía la señal al ECM de la transmisión y el ECM de la transmisión energiza las solenoides para dar paso de aceite a los embragues de la transmisión, no hay movimiento en la corona del diferencial. el camión queda neutralizada. El proceso de mantenimiento de vías de la mina y frentes de cargue se interrumpe. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, reparar el diferencial y colocar funcionamiento 10 días de tres turnos.
A	No desplaza el camión hacia adelante	38	Corona del diferencial desgastada	El trabajo, la fricción, y contacto permanente, entre otros, desgastan los dientes de la corona del diferencial y en algún momento se desliza, hay pérdida del engranaje con el piñón de ataque (speed), no hay transmisión de movimiento entre el diferencial y los ejes laterales de los mandos finales. Cuando sea accionado el interruptor direccional de la transmisión para desplazar el camión, este envía la señal al ECM de la transmisión y el ECM de la transmisión energiza las solenoides para dar paso de aceite a los embragues de la transmisión, no hay movimiento en los ejes laterales de los mandos finales. el camión queda neutralizada. El proceso de mantenimiento de vías de la mina y frentes de cargue se interrumpe. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, reparar el diferencial y colocar funcionamiento 10 días de tres turnos.
A	No desplaza el camión hacia adelante	39	Tornillos de sujeción de la corona mal ajustados	Después de una intervención de mantenimiento los tornillos de sujeción de la corona del diferencial pueden quedar mal torquados, estos tornillos se pueden soltar o partir y se pierde la sujeción de la corona ocasionando un desalineamiento entre la corona y el piñón de ataque (speed), ocasionando un bloqueo entre las dos piezas, se pierde la transmisión de movimiento entre el diferencial y los ejes laterales de los mandos finales. Cuando sea accionado el interruptor direccional de la transmisión para desplazar el camión, este envía la señal al ECM de la transmisión y el ECM de la transmisión energiza las solenoides para dar paso de aceite a los embragues de la transmisión, no hay movimiento en los ejes laterales de los mandos finales. el camión queda neutralizada. El proceso de mantenimiento de vías de la mina y frentes de cargue se interrumpe. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, reparar el diferencial y colocar funcionamiento 10 días de tres turnos.
A	No desplaza el camión hacia adelante	40	Rodamientos del piñón de ataque desgastados	La operación, la fricción, entre otros, desgastan los rodamientos del piñón de ataque, a medida que se desgastan aumenta la vibración, la temperatura y en algún momento frenan y hay agarrotamiento mecánico en el piñón de ataque (speed), se pierde la transmisión de movimiento de la corona del diferencial con lo ejes laterales de los mandos finales. Cuando sea accionado el interruptor direccional de la transmisión para desplazar el camión, este envía la señal al ECM de la transmisión y el ECM de la transmisión energiza las solenoides para dar paso de aceite a los embragues de la transmisión, no hay movimiento en los ejes laterales de los mandos finales. el camión queda neutralizada. El proceso de mantenimiento de vías de la mina y frentes de cargue se interrumpe. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, reparar el diferencial y colocar funcionamiento 10 días de tres turnos.

A	No desplaza el camión hacia adelante	41	Rodamientos del envoltorio de la corona desgastados.	La operación, la fricción, entre otros, desgastan los rodamientos del envoltorio de la corona del diferencial, a medida que se desgastan aumenta la vibración, la temperatura y en algún momento frenan y hay agarrotamiento mecánico de la corona del diferencial, se pierde la transmisión de movimiento de la corona del diferencial con lo ejes laterales de los mandos finales. Cuando sea accionado el interruptor direccional de la transmisión para desplazar el camión, este envía la señal al ECM de la transmisión y el ECM de la transmisión energiza las solenoides para dar paso de aceite a los embragues de la transmisión, no hay movimiento en los ejes laterales de los mandos finales. el camión queda neutralizada. El proceso de mantenimiento de vías de la mina y frentes de cargue se interrumpe. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, reparar el diferencial y colocar funcionamiento 10 días de tres turnos.
A	No desplaza el camión hacia adelante	42	Planetarios del diferencial desgastados	La operación, la fricción, la temperatura, entre otros, desgastan las estrías de los planetarios del diferencial, a medida que se desgastan aumenta la vibración, la temperatura y en algún momento se deslizan y se pierde la transmisión de movimiento de los planetarios del diferencial con lo ejes laterales de los mandos finales. Cuando sea accionado el interruptor direccional de la transmisión para desplazar el camión, este envía la señal al ECM de la transmisión y el ECM de la transmisión energiza las solenoides para dar paso de aceite a los embragues de la transmisión, no hay movimiento en los ejes laterales de los mandos finales. el camión queda neutralizada. El proceso de mantenimiento de vías de la mina y frentes de cargue se interrumpe. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, reparar el diferencial y colocar funcionamiento 10 días de tres turnos.
A	No desplaza el camión hacia adelante	43	Corona del mando final desgastada	La operación, la fricción, la temperatura, entre otros, desgastan los dientes de la corona de los mandos finales, a medida que se desgastan aumenta la vibración, la temperatura y en algún momento se deslizan y se pierde la transmisión de movimiento entre la corona del mando final y el carrier. Cuando sea accionado el interruptor direccional de la transmisión para desplazar el camión, este envía la señal al ECM de la transmisión y el ECM de la transmisión energiza las solenoides para dar paso de aceite a los embragues de la transmisión, no hay movimiento en el sprocket del mando final. el camión queda neutralizada. El proceso de mantenimiento de vías de la mina y frentes de cargue se interrumpe. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, reparar los mandos finales y colocar funcionamiento 2 días de tres turnos si lo hay en el almacén, sino demora hasta 10 días.
B	No desplaza en reversa el camión	1	Sensor de posición de la palanca de levante falla abierto	La contaminación, la tierra y la humedad van aislando la función del sensor, el sensor se daña abierto, el ECM de la transmisión registra de forma errada la posición de la palanca seleccionada para levante del tolva porque el sensor de posición de la palanca está dañado abierto y el ECM de la transmisión no envía la señal a las solenoides (1 y 7) que se deben energizar para dar reversa. El camión no reversa, y la indicación de tolva arriba no se activa. El proceso de acarreo se suspende. Tiempo para diagnosticar, cambiar el sensor de posición de la palanca de levante y colocar en funcionamiento 16 horas.
B	No desplaza en reversa el camión	2	Circuito del sensor de posición de la palanca de levante abierto	El roce y la temperatura deterioran el circuito del sensor se daña abierto, el ECM de la transmisión registra de forma errada la posición de la palanca seleccionada para levante del tolva porque el sensor de posición de la palanca está dañado abierto y el ECM de la transmisión no envía la señal a las solenoides (1 y 7) que se deben energizar para dar reversa. El camión no reversa, y la indicación de tolva arriba no se activa. El proceso de acarreo se suspende. Tiempo para diagnosticar, reparar el circuito del sensor de posición de la palanca del control de la transmisión y colocar en funcionamiento 16 horas.

B	No desplaza en reversa el camión	3	Solenoides del embrague No. 1 ó No.7 abierta o corto circuito a tierra	La temperatura y el funcionamiento deterioran las solenoides de embrague 1 o 7, si dañan abiertas, cuando el ECM de la transmisión envíe la señal de activación de las solenoides estas no se energizan y no hay ingreso de presión de aceite para mover los embragues a la marcha reversa. Se registra un código en el advisor MID 087 CID 1402 o 1407 - 5. El equipo no desplaza hacia a tras. Se detiene el proceso de acarrear. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar la solenoide del embrague 1 o 7 y colocar en funcionamiento 12 horas.
B	No desplaza en reversa el camión	4	Circuito de la solenoide del embrague Solenoide del embrague No. 1 ó No.7 abierto o corto circuito a tierra	El roce y el cambio de temperatura van deteriorando el circuito de alimentación de las solenoides de embrague 1 o 7, en algún momento se daña abierto, cuando el ECM de la transmisión envíe la señal de activación de las solenoides estas no se energizan y no hay ingreso de presión de aceite para mover los embragues a la marcha reversa. Se registra un código en el advisor MID 087 CID 1401 o 1407 - 5. El equipo no desplaza hacia a tras. Se detiene el proceso de acarrear. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, reparar el circuito de la solenoide del embrague 1 o 7 y colocar en funcionamiento 8 horas.
B	No desplaza en reversa el camión	5	Entrada o salida del ECM de la transmisión dañada	La sobrecarga, un corto circuito, u otros dañan la entrada o salida de la señal de reversa del ECM de la transmisión. Se registra un código de "MID 087 CID 1401 y/o 1407 - 11 " modulo de control dañado" El ECM no envía señal para activar las solenoide 1 y/o 7 estas o se energizan y no hay ingresa presión de aceite para mover los embragues a la marcha reversa. El equipo no desplaza hacia a tras. Se detiene el proceso de acarrear. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar el ECM de la transmisión y colocar en funcionamiento 8 horas si hay en stock, si hay que comprarlo demora hasta 48 horas.
B	No desplaza en reversa el camión	6	Fusible de 15 A del ECM de la transmisión quemado o aislado	La sobrecarga, un corto circuito, u otros dañan el fusible del ECM de la transmisión. Se registra un código de "MID 087 CID 1401 y/o 1407 - 11 " modulo de control dañado " El ECM no envía señal para activar las solenoide 1 y/o 7 estas o se energizan y no hay ingresa presión de aceite para mover los embragues a la marcha reversa. El equipo no desplaza hacia a tras. Se detiene el proceso de acarrear. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar el fusible de 15 A del ECM de la transmisión y colocar en funcionamiento 1 hora.
C	Desplaza el camión a una velocidad inferior de 40 kph	1	Solenoides 1 y/o 4 de los embragues abierta o en corto	La temperatura y el funcionamiento deterioran las solenoides de embrague 1 o 4, y se dañan abiertas, cuando el ECM de la transmisión envíe la señal de activación de las solenoides para la sexta velocidad estas no se energizan y no hay ingreso de presión de aceite para mover los embragues de la sexta velocidad. Se registra un código en el advisor MID 087 CID 1401 o 1404- 5. El camión se queda en un cambio inferior y no va alcanzar los 40 kph. El camión disminuye el rendimiento. Se detiene el proceso de acarrear. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar la solenoide del embrague 1 o 4 y colocar en funcionamiento 12 horas.
C	Desplaza el camión a una velocidad inferior de 40 kph	2	Circuito de la solenoide del embrague No. 1 ó No.4 abierto o corto circuito a tierra	El roce y el cambio de temperatura van deteriorando el circuito de alimentación a las solenoides de embrague 1 y/o 4, y se daña abierto o en corto circuito, cuando el ECM de la transmisión envíe la señal de activación de las solenoides para la sexta velocidad estas no se energizan y no hay ingreso de presión de aceite para mover los embragues de la sexta velocidad. Se registra un código en el advisor MID 087 CID 1401 o 1404- 5/6. El camión se queda en un cambio inferior y no va alcanzar los 40 kph. El camión disminuye el rendimiento. Se detiene el proceso de acarrear. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, reparar el circuito de la solenoide del embrague 1 o 4 y colocar en funcionamiento 8 horas.

C	Desplaza el camión a una velocidad inferior de 40 kph	3	Interruptor de tolva arriba activado	La polución y la humedad se van acumulando en el mecanismo del interruptor de tolva arriba, en algún momento la contaminación atasca el mecanismo del interruptor en la posición arriba y se emite una señal errada al ECM de la transmisión de tolva arriba. Cuando el ECM de la transmisión registra esta condición no energiza las solenoides 2 y 6 y el equipo no pasa de 1 velocidad. El camión se desplaza a una velocidad inferior de 40 kph, se activa una señal luminosa en el panel de instrumentos de tolva arriba. El proceso de acarreo se detienen. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar el interruptor de tolva a arriba y colocar en funcionamiento 4 horas.
C	Desplaza el camión a una velocidad inferior de 40 kph	4	Sensor de aceleración descalibrado más de un 60%	El polvo, la humedad, la tierra y el funcionamiento, van desgastando el contacto del sensor del acelerador esto produce pérdida de señal entre el sensor y el ECM del motor. Cuando el operador accione el pedal de la acelerador el motor no va alcanzar las RPM requerida para lograr un desplazamiento del camión a 40 kph. El camión se desplaza lento. El proceso pierde eficiencia y en algún momento lo detiene. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar el sensor de aceleración y colocar en funcionamiento 3 horas.
C	Desplaza el camión a una velocidad inferior de 40 kph	5	Resorte del pedal modulador fatigado	La contaminación, la temperatura, partículas extrañas, pueden llegar atascar abierta la válvula del pedal de freno de servicio, permitiendo el flujo de aceite hacia los paquetes de freno de servicio para aplicarlos. Cuando se desplace la máquina en una marcha determinada no va lograr la velocidad requerida porque el se encuentra frenada, se desplaza lento. La tarea asignada se atrasa. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar la válvula del pedal de freno de servicio y colocar en funcionamiento 8 horas si la hay en bodega.
C	Desplaza el camión a una velocidad inferior de 40 kph	6	Programación de la velocidad por debajo de 40 kph	Una programación incorrecta de la velocidad deseada puede ocasionar que está quede saeteada a un desplazamiento inferior a 40 kph. El camión se desplaza a una velocidad inferior a los 40 kph. En el advisor se registra y en el panel de instrumentos la velocidad que lleva y el cambio real, este lo muestra en 5 velocidad. El proceso pierde eficiencia y en algún momento lo detiene. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, programar la velocidad y colocar en funcionamiento 2 horas.
C	Desplaza el camión a una velocidad inferior de 40 kph	7	Contacto del botón de selección de cambio desgastado	La fricción y la operación van desgastando los contactos de los botones ascendente y descendente de las palancas de los cambios, en algún momento el contacto se aísla y cuando se seleccione un cambio ascendente no va enviar la señal al ECM de la transmisión. El camión no cambia de velocidad y se desplaza una velocidad inferior de 40 kph. El proceso pierde eficiencia y en algún momento lo detiene. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar el grupo de palanca de control de la transmisión y colocar en funcionamiento 8 horas.
C	Desplaza el camión a una velocidad inferior de 40 kph	8	Mecanismos de la válvula lock up desgastados	La fricción y la presión hidráulica van desgastando los mecanismos internos de la válvula lock up, la fricción va aumentando y en algún momento se fracturan y la válvula no genera la presión hidráulica requerida para modular el embrague del convertidor de acuerdo a la velocidad seleccionada, no hay suficiente presión de aceite para actuar un cambio mayor. El camión se queda en primera velocidad no alcanza los 40 kph. El proceso pierde eficiencia y en algún momento lo detienen. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar la válvula lock up y colocar en funcionamiento 8 horas.

C	Desplaza el camión a una velocidad inferior de 40 kph	9	Circuito de alimentación de la solenoide de la válvula lock up abierto	Los cambios de temperatura, el roce con el chasis van desgastando el aislante del arnés hasta romperlo, causando así el corto a tierra del circuito de la solenoide de la válvula lock up, se registra un código en el advisor MID 087 CID 0709-5 "circuito abierto", la válvula no se abre para generar la presión hidráulica requerida para modular el embrague del convertidor de acuerdo a la velocidad seleccionada, hay suficiente presión de aceite para actuar un cambio mayor. El camión se queda en primera velocidad no alcanza los 40 kph. El proceso pierde eficiencia y en algún momento lo detienen. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, reparar el circuito de la válvula lock up y colocar en funcionamiento 4 horas.
C	Desplaza el camión a una velocidad inferior de 40 kph	10	Solenoide de la válvula lock up en corto circuito o abierta	El trabajo continuo de modulación va recalentando la bobina de la solenoide de la válvula lock up hasta abrir el circuito ó se hace un corto circuito, se registra un código activo de "circuito abierto o a tierra" MID 087 CID 0709-3 voltaje sobre lo normal o MID 087 CID 0709-6 "circuito a tierra". La válvula no se abre para generar la presión hidráulica requerida para modular el embrague del convertidor de acuerdo a la velocidad seleccionada, hay suficiente presión de aceite para actuar un cambio mayor. El camión se queda en primera velocidad no alcanza los 40 kph. El proceso pierde eficiencia y en algún momento lo detienen. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar la válvula lock up y colocar en funcionamiento 4 horas.
C	Desplaza el camión a una velocidad inferior de 40 kph	11	Válvula del pedal de freno de servicio atascada abierta	La contaminación, la temperatura, partículas extrañas, pueden llegar atascar abierta la válvula del pedal de freno de servicio, permitiendo el flujo de aceite hacia los paquetes de freno de servicio para aplicarlos. Cuando se desplace la máquina en una marcha determinada no va lograr la velocidad requerida porque el se encuentra frenada, se desplaza lento. La tarea asignada se atrasa. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar la válvula del pedal de freno de servicio y colocar en funcionamiento 8 horas si la hay en bodega.
C	Desplaza el camión a una velocidad inferior de 40 kph	12	Discos y platos del freno de servicio desgastados	La fricción y el tiempo de trabajo van desgastando los discos y platos del freno de servicio, lo que produce una deformación de los discos y platos, ocasionando mayor fricción entre ellos generando que la máquina se frene. Cuando se desplace la máquina en una marcha determinada no va lograr la velocidad requerida porque el se encuentra frenada, se desplaza lento. En caso de que se aplique el freno de servicio se pierde el freno aumentando calentamiento en el paquete de freno. La tarea asignada se atrasa. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar los paquetes de frenos de servicio y colocar en funcionamiento 24 horas. Si los hay en el almacén.

Anexo 3 - Modos y Efectos de Falla del Sistema de Freno

Función principal: Frenar simultáneamente el movimiento de las cuatro ruedas.

ITEM	FALLO FUNCIONAL	ITEM	MODO DE FALLA (CAUSA DE LA FALLA)	EFFECTOS DE LAS FALLAS (QUE SUCEDE CUANDO FALLO)
A	No frena simultáneamente el movimiento de las cuatro ruedas.	1	Pedal de freno de servicio sucio	El barro, objetos extraños dentro de la cabina se pueden alojar en el mecanismo de accionamiento del pedal de freno de servicio lo que impiden el recorrido del pedal a un 100%. Como el pedal no desplaza la válvula de freno de servicio no hay presión hidráulica hacia los paquetes de frenos y estos no enganchan para frenar el camión. El camión continua desplazando y es necesario activar el freno secundario o de emergencia que detiene el equipo. Si el operador no es lo suficientemente hábil hay riesgo de colisión antes de usar el freno secundario. El proceso de acarreo se suspende. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, limpiar el pedal de freno de servicio y colocar en funcionamiento hasta 1 hora.
A	No frena simultáneamente el movimiento de las cuatro ruedas.	2	Seguro del pasador del pedal de freno de servicio ausente	La vibración y el accionamiento del pedal de freno van desgastando el alojamiento del pasador, en algún momento el seguro (cíclico) se cae lo que genera la salida del pasador de su alojamiento y el pedal pierde la conexión con la válvula de freno. Al accionar el pedal para detener el camión esté no se detiene, es necesario accionar el pedal de freno secundario para detener el camión. Si el operador no es lo suficientemente hábil hay riesgo de colisión antes de usar el freno secundario. El proceso de acarreo se suspende. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar el pedal de freno de servicio y colocar en funcionamiento hasta 4 horas.
A	No frena simultáneamente el movimiento de las cuatro ruedas.	3	Mecanismos internos de la válvula de freno de servicio fatigados	La presión, la temperatura y el accionamiento del pedal de freno de servicio fatigan los mecanismos internos de la válvula de freno de servicio, en algún momento los mecanismos se parten y la válvula deja de realizar su función. Al accionar el pedal de freno de servicio para detener el camión la válvula de freno no da paso de aceite hacia los paquetes de freno del camión, es necesario accionar el pedal de freno secundario para detener el camión. Si el operador no es lo suficientemente hábil hay riesgo de colisión antes de usar el freno secundario. El proceso de acarreo se suspende. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar la válvula de freno de servicio y colocar en funcionamiento hasta 4 horas.
A	No frena simultáneamente el movimiento de las cuatro ruedas.	4	Bomba del sistema de frenos desgastada	La fricción, la limalla, la temperatura van desgastando las partes internas de la bomba de frenos, en cualquier momento la bomba no suministra la presión de 2750 psi al sistema de frenos, se activa una alarma de nivel 3 en el panel de instrumentos y se registra un código de evento MID 116 CID 280 en caso que se requiera detener el camión es necesario accionar el pedal de freno secundario o de emergencia. El proceso de acarreo se suspende. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar la bomba de sistema de frenos y colocar en funcionamiento 12 horas.
A	No frena simultáneamente el movimiento de las cuatro ruedas.	5	Tanque de aceite hidráulico dejado vacío	Después de una intervención es posible que el tanque de aceite hidráulico no se le adicione aceite. Cuando se de encendido del equipo luego 45 s no se desaparece la alarma de nivel 3 en el panel de instrumentos de baja presión de aceite de los acumuladores de freno de servicio, y se genera un código en el advisor MID 116 CID E-284 "baja presión de aceite de acumuladores" por que la presión de los acumuladores es igual o inferior a los 1798 psi. Se retrasa la tarea de mantenimiento y la entrega a operación. Tiempo para diagnosticar, agregar aceite hidráulico y colocar en funcionamiento 2 horas.

A	No frena simultáneamente el movimiento de las cuatro ruedas.	6	ECM de los frenos desprogramado o desactualizado	Después de un cambio de ECM de frenos es posible que se instale un ECM de frenos desprogramado o desactualizado en la función de frenos de servicio. Cuando se requiera detener el camión y se accione el pedal de freno de servicio, el ECM de los frenos no envía la señal a las solenoides para el ingreso de presión de aceite hidráulico a los frenos de servicio no actúan. alarma de nivel 3 en el panel de instrumentos de baja presión de aceite de los acumuladores de freno de servicio, y se genera un código en el advisor MID 116 CID E-284 "baja presión de aceite de acumuladores" por que la presión de los acumuladores es igual o inferior a los 1798 psi. Se retrasa la tarea de mantenimiento y la entrega a operación. Tiempo para diagnosticar, actualizar el ECM de los frenos y colocar en funcionamiento 12 horas.
A	No frena simultáneamente el movimiento de las cuatro ruedas.	7	Sistema de aceite hidráulico de los frenos dejado con aire	Después de un cambio de componentes en el sistema hidráulico de frenos es posible que no se purgue el sistema o se desaire. El sistema queda con burbujas de aire cuando se requiera la presión para accionar el paquete de frenos de servicio no va estar disponible por la presencia de aire. El equipo no se detiene cuando se accione el pedal de frenos de servicio de manera inmediata, es necesario hacerlo con el freno secundario. Se atrasa la tarea de mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, purgar aire del sistema de frenos de servicio y colocar en funcionamiento 2 horas.
A	No frena simultáneamente el movimiento de las cuatro ruedas.	8	Acumulador de freno de servicio dejado sin nitrógeno	Después de una intervención en los acumuladores es posible que estos queden sin nitrógeno. Cuando se de encendido al equipo se genera una alarma de nivel 3 en el panel de instrumentos y se registra un código MID 116 CID E284 "baja presión de acumuladores de frenos de servicio", en caso que se requiera aplicar los frenos de servicio no hay respuesta inmediata de frenado, el camión frena irregularmente con deslizamiento en los paquetes de freno. La tarea de mantenimiento se retrasa. Tiempo para diagnosticar, cargar los acumuladores y colocar en funcionamiento 2 horas.
B	Frena el movimiento con menos de las cuatro ruedas.	1	Sensor de posición de pedal de freno de servicio dañado	En cualquier momento el sensor de posición del pedal de freno de servicio se daña, se genera un código de falla en el advisor MID 116 CID 0468 - 8 "señal anormal". Cuando es accionado el pedal para detener el camión el sensor de posición no envía la señal al ECM de los frenos y este no energiza la solenoide de los paquetes de freno delanteros entonces no hay presión de aceite hidráulico para la activación de los paquetes de frenos frontales. El camión frena sólo con las ruedas traseras y tarda en detenerse (segundos). El proceso de acarreo se suspende. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar el sensor de posición de pedal de freno de servicios y colocar en funcionamiento 4 horas.
B	Frena el movimiento con menos de las cuatro ruedas.	2	Circuito del sensor de posición del pedal falla abierto	La temperatura y el roce con la estructura de la máquina van deteriorando el aislante del circuito del sensor de posición del pedal de freno, en algún momento la línea se abre o queda en corto circuito a tierra, se genera un código de falla en el advisor MID 116 CID 0468 - 3 - 4 "Voltaje sobre lo normal - voltaje bajo lo normal". Cuando es accionado el pedal para detener el camión el sensor de posición no envía la señal al ECM de los frenos y este no energiza la solenoide de los paquetes de freno delanteros entonces no hay presión de aceite hidráulico para la activación de los paquetes de frenos frontales. El camión frena sólo con las ruedas traseras y tarda en detenerse (segundos). El proceso de acarreo se suspende. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, reparar el circuito del sensor de posición de pedal de freno de servicios y colocar en funcionamiento 8 horas.

B	Frena el movimiento con menos de las cuatro ruedas.	3	Válvula de servicio del freno delantero atascada cerrada	La contaminación del aceite se va alojando en los canales de la válvula de servicio del freno delantero, en algún momento la contaminación obstruye el paso de aceite y queda atascada en posición cerrada. Al accionar el pedal de freno de servicio la válvula de servicio no paso de aceite hacia los paquetes de freno delantero, lo que produce que no exista presión de aceite hidráulico para la activación de los paquetes de frenos frontales. El camión frena sólo con las ruedas traseras y tarda en detenerse (segundos). El proceso de acarreo se suspende. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, limpiar la válvula servicio de freno de servicio delantero y colocar en funcionamiento 12 horas. Si se cambia demora 8 horas.
B	Frena el movimiento con menos de las cuatro ruedas.	4	Solenoide de la válvula de freno delantero dañada abierta	Los picos de corriente y la temperatura dañan la bobina del solenoide de la válvula de control de flujo de los frenos delanteros, se genera un código de falla en el advisor MID 116 CID 1013 - 6 "corriente sobre lo normal". Cuando se accione el pedal de frenos de servicio el ECM de los frenos le envía la señal a la solenoide no va abrir el carrete de la válvula para direccionar el aceite hidráulico hacia los paquetes de los frenos delanteros. lo que produce que no exista presión de aceite hidráulico para la activación de los paquetes de frenos frontales. El camión frena sólo con las ruedas traseras y tarda en detenerse (segundos). El proceso de acarreo se suspende. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar el solenoide de control de flujo de freno de servicios y colocar en funcionamiento 4 horas.
B	Frena el movimiento con menos de las cuatro ruedas.	5	Circuito de la solenoide de la válvula de control de flujo de frenos delanteros dañada abierto o en corto circuito	La temperatura y el roce con la estructura de la máquina van deteriorando el aislante del circuito de la solenoide de la válvula de control de flujo de los frenos delanteros, en algún momento la línea se abre o queda en corto circuito a tierra, se genera un código de falla en el advisor MID 116 CID 1013 - 3 - 5 "Voltaje sobre lo normal - corriente bajo lo normal". Cuando se accione el pedal de frenos de servicio el ECM de los frenos le envía la señal a la solenoide no va abrir el carrete de la válvula para direccionar el aceite hidráulico hacia los paquetes de los frenos delanteros. lo que produce que no exista presión de aceite hidráulico para la activación de los paquetes de frenos frontales. El camión frena sólo con las ruedas traseras y tarda en detenerse (segundos). El proceso de acarreo se suspende. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, repara el circuito de la solenoide de control de flujo de freno de servicios y colocar en funcionamiento 8 horas.
B	Frena el movimiento con menos de las cuatro ruedas.	6	Sellos del ajustador de freno delantero cristalizados	La temperatura y la presión van cristalizando los sellos del ajustador de freno delantero, en algún momento los sellos se agrietan y hay fugas internas de aceite en el ajustador de freno de servicio delantero, esto produce un pérdida de presión de frenado en alguna de las llantas, cuando se accione el pedal de frenos de servicio el camión frena tratando de tirar para el lado que no tenga la fuga. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar el ajustador de freno delantero y colocar en funcionamiento 4 horas.
B	Frena el movimiento con menos de las cuatro ruedas.	7	Sellos del ajustador de freno traseros cristalizados	La temperatura y la presión van cristalizando los sellos del ajustador de freno trasero, en algún momento los sellos se agrietan y hay fugas internas de aceite en el ajustador de freno de servicio trasero, esto produce un pérdida de presión de frenado en alguna de las llantas, cuando se accione el pedal de frenos de servicio el camión frena tratando de tirar para el lado que no tenga la fuga. Además, si se requiere usar el TCS no va frenar del lado que el ajustador tenga la fuga. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar el ajustador de freno trasero y colocar en funcionamiento 4 horas.

B	Frena el movimiento con menos de las cuatro ruedas.	8	Sellos de los paquetes de frenos cristalizados	La temperatura y la presión van cristalizando los sellos de los paquetes de freno servicio, en algún momento los sellos se agrietan y hay fugas internas de aceite en los paquetes de freno de servicio, esto produce un pérdida de presión en el momento de frenado en alguna de las llantas, cuando se accione el pedal de frenos de servicio el camión frena tratando de tirar para el lado que no tenga la fuga. Además, si se requiere usar el TCS no va frenar del lado que el ajustador tenga la fuga. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar el mando final trasero y colocar en funcionamiento 20 horas y cambiar el mando final delantero 12 horas.
B	Frena el movimiento con menos de las cuatro ruedas.	9	Discos de los paquetes de frenos desgastados	La fricción y la contaminación van desgastando los discos de los paquetes de freno servicio, en algún momento los discos pierden el agarre y hay deslizamiento de los paquetes de freno de servicio, esto produce un pérdida de presión en el momento de frenado en alguna de las llantas, cuando se accione el pedal de frenos de servicio el camión frena tratando de tirar para el lado que no tenga la fuga. Además, si se requiere usar el TCS no va frenar del lado que el ajustador tenga la fuga. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar el mando final trasero y colocar en funcionamiento 20 horas y cambiar el mando final delantero 12 horas.
B	Frena el movimiento con menos de las cuatro ruedas.	10	Válvula de servicio del freno trasero atascada cerrada	La contaminación del aceite se va alojando en los canales de la válvula de servicio del freno trasero, en algún momento la contaminación obstruye el paso de aceite y queda atascada en posición cerrada. Al accionar el pedal de freno de servicio la válvula servicio de freno trasero no da paso de aceite hacia los paquetes de freno trasero, lo que produce que no exista presión de aceite hidráulico para la activación de los paquetes de frenos traseros. El camión frena sólo con las ruedas delanteras, el frenado en más brusco y tarda en detenerse (segundos). El proceso de acarreo se suspende. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, limpiar la válvula de servicio de frenos traseros de flujo de freno de servicios y colocar en funcionamiento 12 horas. Si se cambia demora 8 horas.
B	Frena el movimiento con menos de las cuatro ruedas.	11	Sellos de los pistones de los acumuladores de frenos de servicio cristalizados	La temperatura y la presión de aceite van cristalizando los sellos de los pistones de los acumuladores del freno de servicio, en algún momento los sellos se agrietan y se presentan fugas internas de nitrógeno en los acumuladores de de frenos de servicio, se cae la presión de nitrógeno por debajo 850 psi, después de frenar varias veces se cae la presión hidráulica del acumulador de freno de servicio trasero, cuando es igual a 1798 psi se activa una alarma de nivel 3 en el panel de instrumentos y se genera un código de evento en el advisor MID 116 CID E-284 “baja presión de los acumuladores”. Si se requiere detener el camión el frenado no se hace de manera inmediata se tarda en detenerse varios segundos. El proceso de acarreo se suspende. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar el acumulador de freno de servicio y colocar en funcionamiento 8 horas.

Anexo 4 - Modos y Efectos de Falla del sistema hidráulico

Función principal: Levantar la tolva en un tiempo de 15 segundos un ángulo 75° con respecto a la horizontal y 110 toneladas

ITEM	FALLO FUNCIONAL	ITEM	MODO DE FALLA (CAUSA DE LA FALLA)	EFFECTOS DE LAS FALLAS (QUE SUCEDE CUANDO FALLO)
A	No levanta la tolva	1	Carga mayor a 110 toneladas en la tolva	En el proceso de cargue de material en un frente de trabajo es posible que se adicione una carga mayor a 110 toneladas, cuando se acciona la palanca de levante para subir la tolva está no se mueve porque se encuentra sobrecargada, la válvula de alivio de levante se abre y da paso de aceite a tanque cuando la presión supera los 2750 \pm 75 psi. Se informa a base y base a mantenimiento. Se descarga el material con una retroexcavadora. Tiempo para descargar el camión y colocar en funcionamiento 2 horas.
A	No levanta la tolva	2	Piñón de engranaje de la bomba de levante fatigado	La contaminación, la fricción, van fatigando la piñonería de engranaje de la bomba de levante, en algún momento se fractura lo que ocasiona que la bomba de levante no suministre presión de aceite. Cuando se accione la palanca para levantar la tolva queda en posición levante y la tolva conserva su posición. El proceso de acarreo se suspende, avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar la bomba de levante, cambiar el aceite, hacer limpieza al sistema hidráulico y colocar en funcionamiento 24 horas.
A	No levanta la tolva	3	Carrete de la válvula de control de levante atascada cerrada	La contaminación y las impurezas del sistema se van alojando en la válvula de control de levante, en algún momento está se atasca cerrada en la posición de levante, cuando se mueva la palanca de control de la tolva a la posición de levante el sensor de posición de la palanca envía la señal al ECM de la transmisión y este a la solenoide de levante y el carrete de la válvula de control no desplaza para dar paso de aceite a los cilindros de levante porque se encuentra atascado. El proceso de acarreo se suspende, avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar la válvula de control de levante, limpiar el sistema hidráulico y colocar en funcionamiento 16 horas.
A	No levanta la tolva	4	Tanque hidráulico dejado vacío	Después de una intervención de mantenimiento es posible que no se agregue aceite y el tanque quede vacío. Cuando se da inicio a la máquina se activa una alarma de nivel 3 en el panel de instrumentos y en el advisor se registra el código MID 087 CID E-0235 "bajo nivel de aceite hidráulico". Se atrasa la entrega del equipo a operación. Tiempo para suministrar el aceite y colocar en funcionamiento 1 hora.
A	No levanta la tolva	5	Solenoide de levante quemada	Un sobre voltaje, el calentamiento, entre otros es posible que quemen la solenoide de levante y se genera un código de falla en el advisor MID 087 CID 0724 -6 "corriente sobre lo normal". Cuando se requiera levantar la tolva y se mueva la palanca de control de la tolva a la posición de levante el sensor de posición de la palanca envía la señal al ECM de la transmisión y este a la solenoide de levante. La solenoide no mueve el carrete para dar paso de aceite a los cilindros de levante porque se encuentra atascado, la tolva no levanta. El proceso de acarreo se suspende, avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar la válvula solenoide de control de levante y colocar en funcionamiento 16 horas.

A	No levanta la tolva	6	Circuito de la solenoide de levante abierto o corto circuito a tierra	La temperatura y el roce del circuito con la estructura de la maquina van deteriorando el aislamiento del circuito de la solenoide de levante hasta perder el aislamiento y las líneas se abren o queda en corto circuito a tierra y se registra un código de falla en el advisor MID 087 CID 0724 -3-5 "Voltaje sobre lo norma, corriente bajo lo normal". Cuando se requiera levantar la tolva y se mueva la palanca de control de la tolva a la posición de levante el sensor de posición de la palanca envía la señal al ECM de la transmisión y este a la solenoide de levante. La solenoide no se energiza para mover el carrete para dar paso de aceite a los cilindros de levante porque se encuentra atascado, la tolva no levanta. El proceso de acarreo se suspende, avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, reparar el circuito de la válvula solenoide de control de levante y colocar en funcionamiento 16 horas.
A	No levanta la tolva	7	Válvula de la solenoide de levante atascado cerrado	La contaminación y las impurezas del sistema se van alojando en la válvula de la solenoide de levante, en algún momento está se atasca cerrada, cuando se requiera levantar la tolva y se mueva la palanca de control de la tolva a la posición de levante el sensor de posición de la palanca envía la señal al ECM de la transmisión y este a la solenoide de levante, la solenoide da paso de la presión piloto para mover el carrete y este no desplaza para dar paso de aceite a los cilindros de levante porque se encuentra atascado, la tolva no levanta. El proceso de acarreo se suspende, avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar la válvula solenoide de levante, limpiar el sistema hidráulico y colocar en funcionamiento 16 horas.
A	No levanta la tolva	8	Bomba de enfriamiento frenos dañada	En cualquier momento la bomba de enfriamiento de los frenos se daña, lo que produce una pérdida de presión piloto para el sistema de levante. Cuando se requiera levantar la tolva y se mueva la palanca de control de la tolva a la posición de levante el sensor de posición de la palanca envía la señal al ECM de la transmisión y este energiza la solenoide de levante y el carrete no se desplaza a la posición de levante por la ausencia de presión piloto, no hay paso de aceite a los cilindros de levante, la tolva no levanta. El proceso de acarreo se suspende, avisa a base y base a mantenimiento. Ver análisis del sistema de frenos. - se analiza a aparte
A	No levanta la tolva	9	Sensor de posición de la palanca de levante dañado	En cualquier momento el sensor de posición de la palanca de levante se daña y registra un código de falla en el advisor MID 087 CID 0773 -8 "frecuencia anormal". cuando se requiera levantar la tolva y se mueva la palanca de control a la posición de levante el sensor de posición de la palanca no envía la señal al ECM de la transmisión y no se energiza la solenoide de levante para dar paso de aceite a los cilindros de levante, la tolva no levanta. El proceso de acarreo se suspende, avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar el sensor de posición de levante y colocar en funcionamiento 6 horas.
A	No levanta la tolva	10	Circuito del sensor de posición de la palanca de levante abierto o en corto circuito a tierra	La temperatura y el roce del circuito con la estructura de la maquina van deteriorando el aislamiento del circuito del sensor de posición de la palanca de levante hasta perder el aislamiento y las líneas se abren o queda en corto circuito a tierra y se registra un código de falla en el advisor MID 087 CID 0773 -3-4 "Voltaje sobre lo normal y voltaje bajo lo normal". Cuando se requiera levantar la tolva y se mueva la palanca de control a la posición de levante el sensor de posición de la palanca no envía la señal al ECM de la transmisión y no se energiza la solenoide de levante para dar paso de aceite a los cilindros de levante, la tolva no levanta. El proceso de acarreo se suspende, avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, reparar el circuito del sensor de posición de levante y colocar en funcionamiento 8 horas.

A	No levanta la tolva	11	ECM de la transmisión desprogramado o desactualizado	Después de un cambio de ECM de la transmisión es posible que se instale un ECM con la función de levante de tolva desprogramada o desactualizada. Cuando se requiera levantar la tolva y se mueva la palanca de control a la posición de levante el sensor de posición de la palanca envía la señal al ECM de la transmisión y este no envía la señal para energizar la solenoide de levante para dar paso de aceite a los cilindros de levante, la tolva no levanta. El proceso de acarreo se suspende, avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, programar o actualizar el ECM de la transmisión y colocar en funcionamiento 12 horas.
A	No levanta la tolva	12	Manguera hidráulica conectada en posición contraria	En una intervención de mantenimiento es posible que al conectar las mangueras del sistema hidráulico de levante queden instaladas en posición contraria o invertidas. Cuando se accione la palanca de control para levantar la tolva, el flujo de aceite está en posición contraria y no fluye para mover los cilindros de levante, las mangueras se tensionan y la tolva no sube. La tarea de mantenimiento se atrasa. Tiempo para corregir la conexión de las mangueras y colocar en funcionamiento 2 horas.
A	No levanta la tolva	13	Manifold de la presión piloto de levante instalado en sentido contrario	En una intervención de mantenimiento en la válvula de control es posible que al instalar los manifold de presión piloto estos queden en sentido contrario o invertido. Cuando se accione la palanca de control para levantar la tolva, la presión piloto del manifold la presión se alivia a tanque y no desplaza el carrete para dar paso de aceite hacia los cilindros de levante y la tolva no levanta. La tarea de mantenimiento se atrasa. Tiempo para corregir la instalación del manifold de la presión piloto y colocar en funcionamiento 8 horas.
A	No levanta la tolva	14	Válvula de alivio de levante atascada abierta	La contaminación y las impurezas del sistema se van alojando en la válvula de alivio de levante, en algún momento está se atasca abierta, cuando se accione la palanca de control de la tolva a la posición de levante el sensor de posición de la palanca envía la señal al ECM de la transmisión y este a la solenoide de levante da paso al aceite para levantar la tolva y el aceite se alivia a tanque por la válvula de alivio atascada abierta. La tolva no levanta. El proceso de acarreo se suspende, avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar la válvula alivio de levante, limpiar el sistema hidráulico y colocar en funcionamiento 8 horas.
A	No levanta la tolva	15	Línea de presión de aceite del levante obstruida por objeto extraño	Después de una intervención de mantenimiento es posible que quede algún tapón plástico en la línea de presión de aceite. Cuando se accione la palanca de control de la tolva a la posición de levante el sensor de posición de la palanca envía la señal al ECM de la transmisión y este a la solenoide de levante y da paso al aceite para levantar la tolva y el aceite no fluye en la línea de presión hacia los cilindros, las mangueras se tensionan y la tolva no levanta. El proceso de entrega del equipo se retrasa. Tiempo para diagnosticar, bajar la manguera, quitar la obstrucción, instalar la manguera y colocar en funcionamiento 4 horas.
B	Levanta la tolva en un tiempo mayor a 15 segundos	1	Bomba de levante desgastada	La contaminación, la fricción, van desgastando la piñonería interna de la bomba de levante, en algún momento pierde eficiencia. Cuando se accione la palanca de control de levante, la bomba suministra menos de 121 gpm, el desplazamiento de los cilindros se vuelve lento, lo que genera que la tolva se levante en un tiempo mayor a 15 segundos. El proceso de acarreo pierde eficiencia y avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar la bomba de levante y colocar en funcionamiento 8 horas.

B	Levanta la tolva en un tiempo mayor a 15 segundos	2	Aceite hidráulico de la bomba de levante con aditivos degradados	Las altas temperaturas y la entrada de contaminantes al sistema hidráulico van degradando los aditivos del aceite hidráulico, en algún momento pierde las propiedades químicas para sellar y la viscosidad, acelera el desgaste de la bomba de levante, en algún momento pierde eficiencia. Cuando se accione la palanca de control de levante, la bomba suministra menos de 121 gpm, el desplazamiento de los cilindros se vuelve lento, lo que genera que la tolva se levante en un tiempo mayor a 15 segundos. El proceso de acarreo pierde eficiencia y avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar la bomba de levante, cambiar el aceite hidráulico y colocar en funcionamiento 12 horas.
B	Levanta la tolva en un tiempo mayor a 15 segundos	3	Válvula de alivio de levante obstruida parcialmente	La contaminación y las impurezas del sistema se van alojando en la válvula de alivio de levante, en algún momento está se atasca y la deja abierta parcialmente. Cuando se accione la palanca de control de levante la presión de aceite del sistema se libera a tanque por la válvula de alivio que esta parcialmente abierta, el flujo de aceite que va hacia los cilindros va ser menor, los cilindros se vuelven lentos, lo que genera que la tolva se levante en un tiempo mayor a 15 segundos. El proceso de acarreo pierde eficiencia y avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar la válvula de alivio de levante y colocar en funcionamiento 8 horas.
B	Levanta la tolva en un tiempo mayor a 15 segundos	4	Válvula de alivio de levante calibrado por debajo de 2675 psi	Después de un cambio de válvula de alivio de levante es posible que venga descalibrada de fabrica por debajo de 2675 psi, lo cual genera una presión inferior a 2750 psi a los cilindros de levante, flujo de aceite de disminuye y los cilindros se desplazan lentamente, lo que genera que la tolva se levante en un tiempo mayor a 15 segundos. El proceso de acarreo pierde eficiencia y avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, calibrar la válvula de alivio de levante y colocar en funcionamiento 4 horas.
B	Levanta la tolva en un tiempo mayor a 15 segundos	5	Línea de presión de aceite de levante obstruida parcialmente por objeto extraño	Después de una intervención en el sistema de levante del camión es posible que una línea de presión de aceite quede obstruida parcialmente por un tapón plástico, la líneas restringe del flujo de aceite hacia los cilindros de levante, los cilindros se tornan lentos, lo que genera que la tolva se levante en un tiempo mayor a 15 segundos. El proceso de acarreo pierde eficiencia y avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, retirar el tapón y colocar en funcionamiento 4 horas.
B	Levanta la tolva en un tiempo mayor a 15 segundos	6	Sellos internos de los cilindros cristalizados	La temperatura, la fricción van cristalizando los sellos internos del cilindro de levante, se agrietan y en algún momento producen fuga interna en el cilindro, lo que genera que el cilindro se vuelva lento, la temperatura del aceite hidráulico del cilindro afectado incrementa. Lo que genera que la tolva se levante en un tiempo mayor a 15 segundos. El proceso de acarreo pierde eficiencia y avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar el cilindro de levante y colocar en funcionamiento 12 horas.
B	Levanta la tolva en un tiempo mayor a 15 segundos	7	Solenoides de levante desproporcionada	La temperatura y la humedad van desproporcionando el campo magnético de la solenoide lo cual produce que la señal para mover el carrete sea deficiente y este se desplaza un recorrido menor al requerido, generando una menor entrega de flujo de aceite a los cilindros de levante, estos se vuelven lentos, la tolva se levanta en un tiempo mayor a 15 segundos. El proceso de acarreo pierde eficiencia y avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar la solenoide y colocar en funcionamiento 4 horas.

B	Levanta la tolva en un tiempo mayor a 15 segundos	8	Sensor de posición de la palanca de levante descalibrado	En cualquier momento el sensor de posición de la palanca se descalibra y envía una señal errática al ECM de la transmisión, el cual no proporciona la corriente necesaria a la solenoide para mover el carrete a la posición de levante. El carrete se desplaza un recorrido menor al requerido, generando una menor entrega de flujo de aceite a los cilindros de levante, estos se vuelven lentos, la tolva se levanta en un tiempo mayor a 15 segundos. El proceso de acarreo pierde eficiencia y avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar sensor de posición de la palanca de levante y colocar en funcionamiento 8 horas.
B	Levanta la tolva en un tiempo mayor a 15 segundos	9	Aceite hidráulico contaminado	Después de lavado del equipo es posible que ingrese agua al sistema hidráulico por el respiradero o la tapa del tanque, el aceite se contamina con agua, el aceite se emulsiona y pierde viscosidad, la presión del sistema disminuye por debajo de 2750 psi, los cilindros de levante se vuelven lentos y la tolva se levanta en más de 15 s, se produce ruido cuando la tolva levanta. El proceso de acarreo pierde eficiencia, avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, limpiar el sistema hidráulico, cambiar el aceite, cambiar el respiradero, cambiar los filtros de aceite hidráulico y colocar en funcionamiento 6 horas.

Anexo 5 - Modos y Efectos de Falla del sistema de dirección

Función principal: Girar el camión hacia la izquierda o hacia la derecha un ángulo del centro al extremo de 0° a 34° en 6 s.

ITEM	FALLO FUNCIONAL	ITEM	MODO DE FALLA (CAUSA DE LA FALLA)	EFFECTOS DE LAS FALLAS (QUE SUCEDE CUANDO FALLO)
A	No gira el camión hacia la izquierda o hacia la derecha	1	Sellos del HMU cristalizados	La temperatura y la presión van cristalizando los sellos del HMU en algún momento los sellos se agrietan y se producen fugas internas del HMU, produciendo que la presión de aceite hidráulico de la dirección se retorne a tanque y se pierde el flujo de aceite hacia los cilindros, cuando sea acciona el volante de la dirección para girar el camión hacia la derecha o hacia la izquierda los cilindros no responden y las llantas no giran, la dirección se torna dura. El camión es detenido se corre el riesgo de colisión o atropellamiento. El proceso de acarreo se detiene. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar el HMU y colocar en funcionamiento 8 horas
A	No gira el camión hacia la izquierda o hacia la derecha	2	Tornillos de acople de HMU y columna dirección sueltos	Después de una intervención de mantenimiento es posible que los tornillos que unen al HMU con la columna de la dirección queden con un torque inadecuado, la vibración y el desplazamiento del camión van aflojando los tornillo y en algún momento se desacoplan y el camión queda sin dirección porque el HMU se suelta de la columna de la dirección. El camión no responde cuando el volante es accionado hacia alguna de las dos direcciones. El camión es detenido se corre el riesgo de colisión o atropellamiento. El proceso de acarreo se detiene. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, ajustar los tornillos de acople de HMU y la columna y colocar en funcionamiento 4 horas
A	No gira el camión hacia la izquierda o hacia la derecha	3	Terminales de la barra de la dirección fatigadas	Los esfuerzos a los que están sometidos los terminales de la barra de la dirección lo van fatigando y en el algún momento es posible que se fracturen, lo que genera una pérdida de dirección. El camión no responde cuando el volante es accionado hacia alguna de las direcciones. El camión es detenido, se corre el riesgo de colisión o atropellamiento. El proceso de acarreo se suspende. Se informa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar los terminales, hacer evaluación de todos los terminales, en colocar en funcionamiento 16 horas.
A	No gira el camión hacia la izquierda o hacia la derecha	4	Terminales del cilindro de dirección fatigadas	Los esfuerzos a los que están sometidos los terminales de los cilindros de la dirección lo van fatigando y en el algún momento es posible que se fracturen, lo que genera una pérdida de dirección. El camión no responde cuando el volante es accionado hacia alguna de las direcciones. El camión es detenido, se corre el riesgo de colisión o atropellamiento. El proceso de acarreo se suspende. Se informa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar los terminales de los cilindros de dirección, hacer evaluación de todos los terminales, en colocar en funcionamiento 16 horas.

A	No gira el camión hacia la izquierda o hacia la derecha	5	Abrazaderas de los socket de la dirección con torque inadecuado	En un intervención de mantenimiento es posible que cuando se instalen las abrazaderas de los socket de la dirección, se realice con un mal procedimiento de instalación y estas reciben un torque inadecuado al hacer un giro de dirección la abrazadera se sale el socket de la barra y el camión queda sin sistema de dirección. El camión no responde cuando el volante es accionado hacia alguna de las direcciones. El camión es detenido, se corre el riesgo de colisión o atropellamiento. El proceso de acarreo se suspende. Se informa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar el socket y la barra de dirección si la rosca sufrió algún daño , hacer evaluación de todos los terminales, en colocar en funcionamiento 16 horas.
A	No gira el camión hacia la izquierda o hacia la derecha	6	Válvula de drenaje del tanque del dirección golpeada	Las rocas u objetos extraños pueden golpear la válvula de drenaje del tanque hidráulico de la dirección produciendo una pérdida inmediata del aceite de dirección que cae al piso, se activa la alarma de nivel 3 en el panel de instrumentos y se genera un código en el advisor MID 087 CID E2141 "bajo nivel de aceite de la dirección". No da dirección para alguno de los lados el equipo es detenido y el proceso de acarreo se suspende. . Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar la válvula de drenaje del tanque de la dirección, suministrar aceite y colocar en funcionamiento 4 horas, teniendo disponible el carro servicio.
A	No gira el camión hacia la izquierda o hacia la derecha	7	Interruptor de bloqueo hidráulico accionado encendido	Después de una intervención sobre el interruptor de bloqueo hidráulico se puede dejar activado, este envía una señal al ECM de la transmisión y este le envía una señal a la solenoide de desactivación de dirección principal lo que genera que la dirección principal y secundaria queden deshabilitadas. El equipo no da dirección porque no hay presión hidráulica, en el panel de instrumentos se activa una señal luminosa que indica "modo de bloqueo" (candado) la dirección no responde. No hay proceso de acarreo. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, desactivar el interruptor de bloqueo hidráulico y colocar en funcionamiento 10 minutos.
B	Gira el camión hacia la izquierda o hacia la derecha un ángulo del centro al extremo de 0° a 34° un tiempo mayor a 6 s.	1	Bomba de la dirección principal desgastada	La contaminación, la fricción en el sistema van generando desgaste en las partes internas de la bomba, el desgaste produce deficiencia en la presión, entrega una presión inferior a 3204 psi, cuando se gira la maquina se hace lento se demora más de 6 s en el recorrido de 0 a 34 °, si la presión hidráulica de la dirección disminuye a 1794 psi se activa la dirección auxiliar o secundaria, y se activa una alarma de nivel 3 en el panel de instrumentos y registra un código en el advisor MID 087 CID E-0542 "baja presión de la bomba de dirección", el proceso de acarreo es detenido, avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar la bomba hidráulica de la dirección y colocar en funcionamiento 12 horas.
B	Gira el camión hacia la izquierda o hacia la derecha un ángulo del centro al extremo de 0° a 34° un tiempo mayor a 6 s.	2	Cilindro de suspensión delantera con cromado fuera de especificación	Después de una reparación de los cilindros de suspensión delantero es posible que el cromado quede por encima de los especificado por el fabricante. Cuando se mueva la volante para realizar un giro del camión la dirección se torna dura e incrementa un ruido al darle giro a la volante porque el cromado del cilindro de suspensión aumento el diámetro del estándar del cilindro. El proceso de acarreo es suspendido, avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar el cilindro de suspensión delantera y colocar en funcionamiento 20 horas.

B	Gira el camión hacia la izquierda o hacia la derecha un ángulo del centro al extremo de 0° a 34° un tiempo mayor a 6 s.	3	Válvula de control de flujo de la dirección principal atascada cerrada	La contaminación, las partículas en el sistema, se van alojando en las partes internas de la válvula de control de flujo de la dirección, en cualquier momento generan atascamiento y la válvula queda cerrada, no hay paso de aceite hidráulico de la dirección hacia el HMU, disminuye la presión de aceite de la dirección, cuando se mueva el volante para dar un giro la dirección se torna dura, si la presión disminuye a 1794 psi se activa la dirección auxiliar o secundaria, y se activa una alarma de nivel 3 en el panel de instrumentos y registra un código en el advisor MID 087 CID E-0542 "baja presión de la bomba de dirección", el proceso de acarreo es detenido, avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar la válvula de control de flujo de la dirección y colocar en funcionamiento 8 horas.
B	Gira el camión hacia la izquierda o hacia la derecha un ángulo del centro al extremo de 0° a 34° un tiempo mayor a 6 s.	4	Sellos de los cilindros de dirección cristalizados	La presión y la temperatura van cristalizando los sellos internos de los cilindros de dirección en cualquier momento se agrietan generando fuga interna, el cilindro pierde presión, cuando se gire el volante de la dirección el cilindro afectado de la dirección no desplaza lo suficiente y la dirección se torna dura, se demora más de 6 segundos en desplazar de 0 a 34°, el proceso de acarreo pierde eficiencia, el equipo es detenido, avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar el cilindro de la dirección y colocar en funcionamiento 8 horas, si se requiere reparar el cilindro la tarea se demora hasta 24 horas.
B	Gira el camión hacia la izquierda o hacia la derecha un ángulo del centro al extremo de 0° a 34° un tiempo mayor a 6 s.	5	Válvula de alivio primaria de dirección principal atascada abierta	La contaminación, las partículas en el sistema, se van alojando en las partes internas de la válvula de alivio primaria, en cualquier momento la atascan en posición abierta, la presión de aceite que viene del HMU ingresa la válvula y esta se alivia a tanque, disminuye la presión de aceite hidráulico a los cilindros de la dirección, cuando se mueva el volante para hacer un giro la dirección se torna lenta y se va demorar más de 6 segundos en desplazar de 0 a 34°. El acarreo pierde eficiencia, el camión es detenido, avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar válvula de alivio primaria de la dirección y colocar en funcionamiento 12 horas.
B	Gira el camión hacia la izquierda o hacia la derecha un ángulo del centro al extremo de 0° a 34° un tiempo mayor a 6 s.	6	Cruceta de la columna de dirección desgastada	La fricción van desgastando la cruceta de la columna de la dirección, se va creando un juego y el giro de la cruceta no se hace libre e internamente comienza a bloquearse. Cuando el volante se mueva para hacer el giro la dirección se demora más de 6 segundos en lograr el giro de 0 a 34°, la dirección se torna lento. El proceso de acarreo pierde eficiencia y el camión es detenido. Tiempo para diagnosticar, cambiar la columna de dirección y colocar en funcionamiento 8 horas.
B	Gira el camión hacia la izquierda o hacia la derecha un ángulo del centro al extremo de 0° a 34° un tiempo mayor a 6 s.	7	Carrete de la válvula compensadora de flujo de dirección principal atascada cerrada	La contaminación, las partículas en el sistema, se van alojando en las partes internas de la válvula compensadora de flujo de la dirección, en cualquier momento generan atascamiento y el carrete de la válvula queda cerrado, no hay paso de aceite hidráulico de la dirección hacia la angulación del plato de la bomba de dirección, la bomba disminuye la presión de aceite de la dirección hacia el HMU y cuando se mueva el volante para dar un giro la dirección se torna lenta, si la presión disminuye a 1794 psi se activa la dirección auxiliar o secundaria, y se activa una alarma de nivel 3 en el panel de instrumentos y registra un código en el advisor MID 087 CID E-0542 "baja presión de la bomba de dirección", el proceso de acarreo es detenido, avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar la válvula compensadora de la bomba hidráulica de la dirección y colocar en funcionamiento 12 horas.

B	Gira el camión hacia la izquierda o hacia la derecha un ángulo del centro al extremo de 0° a 34° un tiempo mayor a 6 s.	8	Sistema hidráulico de la dirección principal dejado con aire	Después de un cambio de componente es posible que el sistema hidráulico de la dirección no se desaire al 100%, quedando burbujas de aire en el sistema, estas burbujas de aire generan cavitación en la bomba acelerando su desgaste, hay calentamiento del aceite hidráulico de la dirección, la presión no va ser contante en el sistema de dirección, la dirección se demora más de 6 segundo en lograr el giro de 0 a 34°, el proceso de acarreo se suspende, avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, desairar el sistema de dirección y colocar en funcionamiento 2 horas.
---	---	---	--	--

Anexo 6 - Modos y Efectos de falla del sistema estructural

Función principal 1: Mantener centrado tren trasero al chasis

Función principal 2: Amortiguar los impactos de las llantas del camión

Función principal 3: Contener la mezcla de aceite y nitrógeno

Función principal 4: Absorber las fluctuaciones entre el volcú y el chasis

Función principal 5: Contener material.

Función principal 6: Prevenir de golpes externos la cabina y el motor

FALLA	ITEM	FALLO FUNCIONAL	ITEM	MODO DE FALLA (CAUSA DE LA FALLA)	EFFECTOS DE LAS FALLAS (QUE SUCEDE CUANDO FALLO)
1	A	No mantiene centrado tren trasero al chasis	1	Bujes del pin desgastados	Debido al desgaste en los bujes de los pines de la sujeción, los tornillos del pin se parten, se sale el pin que asegura la barra y se descentra el chasis, produciendo desalineamiento del tren trasero. Este desalineamiento aumenta el riesgo de daño en llantas traseras y alguien puede salir lesionado o herido. Tiempo para reparar y colocar en servicio 64 horas.
1	A	No mantiene centrado tren trasero al chasis	2	Alojamiento de los bujes de los pines desgastados	El tren trasero tiene movimientos cortos hacia los lados. Si la falla se mantiene los tornillos de los pines se parten y se sale el pin que asegura la barra y se descentra el chasis, produciendo desalineamiento del tren trasero. Este desalineamiento aumenta el riesgo de daño en llantas traseras y alguien puede salir lesionado o herido. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento 80 horas.
1	A	No mantiene centrado tren trasero al chasis	3	Rotula de la barra tensora desgastada	El camión en operación se desplaza hacia los lados, hay ruido de golpe en la parte trasera del camión, si la falla se mantiene se parte la base de los alojamientos del pin, los tornillos de los pines se parten y se sale el pin que asegura la barra y se descentra el chasis, produciendo desalineamiento del tren trasero. Este desalineamiento aumenta el riesgo de daño en llantas traseras y alguien puede salir lesionado o herido. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento cambiar rotula 16 horas, si se parte la base del alojamiento demora 30 días.
2	A	No amortigua los impactos	1	Rotulas de la barra tensora insuficientemente lubricadas	Las rotulas agarrotadas ocasionan que la barra tensora no realice movimientos vertical, no absorbe los impactos durante el desplazamiento, generando grietas en la estructura del camión (chasis). Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento 16 horas.
2	A	No amortigua los impactos	2	Trunion excesivamente ajustado	El trunion queda rígido no hace el movimiento vertical del tren trasero para absorber los impactos del desplazamiento, el trunion se parte, se desacopla el cardán y el camión se neutraliza. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento 56 horas.
2	A	No amortigua los impactos	3	Cilindro de suspensión trasera y delantera mal calibrado	Si el cilindro de suspensión trasera y delantera queda mal calibrado, Hay golpe en la parte trasera del camión durante el desplazamiento y el equipo brinca, las llantas se desgastan de manera irregular, la estructura comienza a agrietarse. Se activa código de servicio en el Pay load, si la descalibración está por debajo. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento 4 horas, más el tiempo de los daños secundarios 12 horas.

2	A	No amortigua los impactos	4	Cromado del cilindro de suspensión trasera y delantera con dimensiones mayores	Si el cromado del cilindro de suspensión trasera y delantera queda con dimensiones mayores luego de una intervención; Hay golpe en la parte trasera del camión durante el desplazamiento y el equipo brinca, el cilindro se pone rígido al incrementar la temperatura de trabajo porque las dimensiones son mayores, las llantas se desgastan de manera irregular, la estructura comienza a agrietarse. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento 24 horas el cilindro delantero y 16 horas el cilindro trasero, más el tiempo de los daños secundarios.
2	A	No amortigua los impactos	5	Pin del cilindro de suspensión trasera suelto	Si el pin del cilindro de suspensión trasera se suelta, el camión se cae o inclina hacia la parte trasera del lado afectado, el lado no afectado trabaja con sobre esfuerzo acelerando el desgaste de los sellos. El equipo es detenido. Avisa a base y este reporta a mantenimiento. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento 8 horas.
3	A	No contiene la mezcla de aceite y nitrógeno	1	Válvula de carga del cilindro sucia	Primero sale el nitrógeno y luego el aceite del cilindro de suspensión delantera o trasera, a través de la válvula de carga, se pierde la proporción de aceite y nitrógeno, si la fuga se mantiene hace que el cilindro se vuelva rígido y no absorba los impactos del desplazamiento del camión, se activa un código de falla de caída de presión en los cilindros de suspensión, la estructura cae hacia el lado del cilindro afectado, puede romper los tornillos de las tapas de cilindros delanteros por el contacto metal con metal. Tiempo para colocar en funcionamiento 4 horas.
3	A	No contiene la mezcla de aceite y nitrógeno	2	Sello del sensor del sistema Pay load cristalizado	Primero sale el nitrógeno y luego el aceite del cilindro de suspensión delantera o trasera del sello del pay load, se pierde la proporción de aceite y nitrógeno, si la fuga se mantiene hace que el cilindro se vuelva rígido y no absorba los impactos del desplazamiento del camión, se activa un código de falla de caída de presión en los cilindros de suspensión, la estructura cae hacia el lado del cilindro afectado, puede romper los tornillos de las tapas de cilindros delanteros por el contacto metal con metal. Tiempo para colocar en funcionamiento 4 horas.
3	A	No contiene la mezcla de aceite y nitrógeno	3	Sello del cilindro de suspensión trasera y delantera desgastado	Hay fuga de aceite en el cilindro de suspensión delantera o trasera, se pierde la proporción de aceite y nitrógeno, si la fuga se mantiene hace que el cilindro se vuelva rígido y no absorba los impactos del desplazamiento del camión, se activa un código de falla de caída de presión en los cilindros de suspensión, la estructura cae hacia el lado del cilindro afectado, puede romper los tornillos de las tapas de cilindros delanteros por el contacto metal con metal. Tiempo para colocar en funcionamiento el delantero 24 horas y el trasero 16 horas.
3	A	No contiene la mezcla de aceite y nitrógeno	4	Abrazaderas de la cubierta protectora del vástago del cilindro mal instaladas	Se incrementa el desgaste de los sellos por el ingreso de tierra al equipo y se presenta fuga de aceite en el cilindro de suspensión delantera o trasera, se pierde la proporción de aceite y nitrógeno, si la fuga se mantiene hace que el cilindro se vuelva rígido y no absorba los impactos del desplazamiento del camión, se activa un código de falla de caída de presión en los cilindros de suspensión, la estructura cae hacia el lado del cilindro afectado, puede romper los tornillos de las tapas de cilindros delanteros por el contacto metal con metal. Tiempo para colocar en funcionamiento el delantero 24 horas y el trasero 16 horas.

3	A	No contiene la mezcla de aceite y nitrógeno	5	Cubierta protectora del vástago del cilindro desgastada	Se incrementa el desgaste de los los sellos por el ingreso de tierra al equipo y se presenta fuga de aceite en el cilindro de suspensión delantera o trasera, se pierde la proporción de aceite y nitrógeno, si la fuga se mantiene hace que el cilindro se vuelva rígido y no absorba los impactos del desplazamiento del camión, se activa un código de falla de caída de presión en los cilindros de suspensión, la estructura cae hacia el lado del cilindro afectado, puede romper los tornillos de las tapas de cilindros delanteros por el contacto metal con metal. Tiempo para colocar en funcionamiento el delantero 24 horas y el trasero 16 horas.
4	A	No absorbe las fluctuaciones entre el volco y el chasis	1	Pads desgastados	Durante el desplazamiento del camión con carga o sin ella, hay golpe en esta área, si se mantiene se presenta agrietamiento en el chasis. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento 16 horas.
4	A	No absorbe las fluctuaciones entre el volco y el chasis	2	Pads descalibrados	Durante el desplazamiento del camión con carga o sin ella, hay golpe en esta área y se desgasta prematuramente los pads del área afectada, si se mantiene se produce agrietamiento en el chasis. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento 8 horas.
4	A	No absorbe las fluctuaciones entre el volco y el chasis	3	Alojamiento de los basculantes desgastados	Durante el desplazamiento del camión con carga o sin ella el volcó se desplaza hacia los lados, y se incrementa el desgaste de los pads. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento 24 horas.
4	A	No absorbe las fluctuaciones entre el volco y el chasis	4	Pin del basculante desgastado	Durante el desplazamiento del camión con carga o sin ella el volcó se desplaza hacia los lados, y se incrementa el desgaste de los pads. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento 4 horas.
4	A	No absorbe las fluctuaciones entre el volco y el chasis	5	Arandela de ajuste del pin pivote del volco ausente	Durante el desplazamiento del camión con carga o sin ella el volco se desplaza hacia los lados, y se incrementa el desgaste de los pads. Cuando se levanta el volco a descargar el material este se desplaza hacia un lado. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento 8 horas.
5	A	No contiene material	1	Volco desgastado	Mientras se desplaza el camión con la carga cae material al piso, incrementando el riesgo del daño en las llantas de los camiones que transiten por la vía. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento 24 horas.
5	A	No contiene material	2	Volco golpeado (por dientes del cucharón del cargador)	Mientras se desplaza el camión con la carga cae material al piso, incrementando el riesgo del daño en las llantas de los camiones que transiten por la vía. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento 24 horas.
6	A	No previene de golpes externos	1	Cachucha del volco desacoplada	Mientras se hace cargue de material al camión, este puede caer sobre la cabina, aumentando el riesgo de deterioro acelerado de la cabina y puede llegar a lesionar al operador. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento 24 horas. Poco probable que suceda
6	A	No previene de golpes externos	2	Alerones desacoplados o dañados.	Mientras se hace cargue de material al camión, este puede caer sobre retrovisores y pasarelas de la cabina, aumentando el riesgo de deterioro de estos elementos. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento 16 horas.

Anexo 7 - Modos y Efectos de falla del sistema eléctrico y electrónico

Función principal: Suministrar 24 a 27 voltios

FUNCIÓN	ITEM	FALLO FUNCIONAL	ITEM	MODO DE FALLA (CAUSA DE LA FALLA)	EFFECTOS DE LAS FALLAS (QUE SUCEDE CUANDO FALLO)
Suministrar 24 a 27 voltios	A	No suministra de 24 a 27 voltios	1	Batería falla	Con una batería que se dañe se corta el suministro de 24 v a la máquina, al dar encendido a la máquina la camion no arranca, porque no hay 24 v al motor de arranque y la alimentación para los demás circuitos. El equipo no enciende. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar la batería y colocar en funcionamiento 3 horas.
Suministrar 24 a 27 voltios	A	No suministra de 24 a 27 voltios	2	Batería dejada desconectada	Después de una intervención de mantenimiento es posible que el terminal de la batería quede suelto, lo que produce que no se suministre los 24 v a la máquina, al dar encendido a la máquina la camion no arranca, porque no hay 24 v al motor de arranque y la alimentación para los demás circuitos. El equipo no enciende. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, conectar el terminal de la batería y colocar en funcionamiento 1 hora.
Suministrar 24 a 27 voltios	A	No suministra de 24 a 27 voltios	3	Torque inadecuado del tornillo de sujeción del terminal del borne de la batería	Después de una intervención de mantenimiento es posible que el tornillo del terminal de la batería quede con un torque inadecuado, con el funcionamiento y la vibración de la máquina en algún momento el tornillo se afloja, al dar encendido a la máquina la camion se forma un arco eléctrico entre el borne y terminal de la batería, lo que hace que el borne se funda y se pierda el suministro de 24 v al sistema. La camion no arranca, porque no hay 24 v al motor de arranque y la alimentación para los demás circuitos. El equipo no enciende. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar la batería, cambiar el terminal y colocar en funcionamiento 4 horas.
Suministrar 24 a 27 voltios	A	No suministra de 24 a 27 voltios	4	Circuito de la batería falla abierto	Si el circuito de la batería se abre se corta el suministro de 24 v a la máquina, al dar encendido a la máquina la camion no arranca, porque no hay 24 v al motor de arranque y la alimentación para los demás circuitos. El equipo no enciende. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, reparar el circuito de la batería y colocar en funcionamiento 4 horas.
Suministrar 24 a 27 voltios	A	No suministra de 24 a 27 voltios	5	Alternador falla	Si el alternador falla, no suministra carga a las baterías, se activa la señal luminosa de advertencia de "carga de la batería" en la pantalla del operador y un código de falla en la pantalla del advisor 0168 F01 de "bajo voltaje en el sistema", cuando el voltaje es igual o inferior a 24,5 v, el voltaje continua disminuyendo y cuando sea igual o inferior a 20 v se activa una alarma de nivel 2, sonora y luminosa en la pantalla del operador y en el advisor el código de falla 0168 F01, y el equipo se neutraliza. El equipo es detenido, avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar el alternador y colocar en funcionamiento 8 horas.

Suministrar 24 a 27 voltios	A	No suministra de 24 a 27 voltios	6	Circuito del alternador abierto	El circuito del alternador se abre no hay suministro de carga a las baterías, se activa la señal luminosa de advertencia de "carga de la batería" en la pantalla del operador y un código de falla en la pantalla del advisor 0168 F01 de "bajo voltaje en el sistema", cuando el voltaje es igual o inferior a 24,5 v, el voltaje continua disminuyendo y cuando sea igual o inferior a 20 v se activa una alarma de nivel 2, sonora y luminosa en la pantalla del operador y en el advisor el código de falla 0168 F01, y el equipo se neutraliza. El equipo es detenido, avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, reparar el circuito del alternador y colocar en funcionamiento 8 horas.
Suministrar 24 a 27 voltios	A	No suministra de 24 a 27 voltios	7	Circuito del alternador falla (en corto)	El circuito del alternador sufre un corto, se dispara el breaker de 150 A, que corta el suministro de carga a las baterías, se activa la señal luminosa de advertencia de "carga de la batería" en la pantalla del operador y un código de falla en la pantalla del advisor 0168 F01 de "bajo voltaje en el sistema", cuando el voltaje es igual o inferior a 24,5 v, el voltaje continua disminuyendo y cuando sea igual o inferior a 20 v se activa una alarma de nivel 2, sonora y luminosa en la pantalla del operador y en el advisor el código de falla 0168 F01, y el equipo se neutraliza. El equipo es detenido, avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, reparar el circuito del alternador y colocar en funcionamiento 8 horas.
Suministrar 24 a 27 voltios	A	No suministra de 24 a 27 voltios	8	Correa del alternador desgastada	La fricción, el calentamiento, entre otros van desgastando la correa del alternador, en algún momento la correa se parte y se pierde la transmisión del movimiento de la polea del motor al alternador, este no trabaja, no suministra carga a las baterías, se activa la señal luminosa de advertencia de "carga de la batería" en la pantalla del operador y un código de falla en la pantalla del advisor 0168 F01 de "bajo voltaje en el sistema", cuando el voltaje es igual o inferior a 24,5 v, el voltaje continua disminuyendo y cuando sea igual o inferior a 20 v se activa una alarma de nivel 2, sonora y luminosa en la pantalla del operador y en el advisor el código de falla 0168 F01, y el equipo se neutraliza. El equipo es detenido, avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar la correa del alternador y colocar en funcionamiento 8 horas.
Suministrar 24 a 27 voltios	A	No suministra de 24 a 27 voltios	9	Correa del alternador golpeada	Las guardas sueltas, piedras o rocas pueden golpear la correa del alternador, en algún momento la correa se parte y se pierde la transmisión del movimiento de la polea del motor al alternador, este no trabaja, no suministra carga a las baterías, se activa la señal luminosa de advertencia de "carga de la batería" en la pantalla del operador y un código de falla en la pantalla del advisor 0168 F01 de "bajo voltaje en el sistema", cuando el voltaje es igual o inferior a 24,5 v, el voltaje continua disminuyendo y cuando sea igual o inferior a 20 v se activa una alarma de nivel 2, sonora y luminosa en la pantalla del operador y en el advisor el código de falla 0168 F01, y el equipo se neutraliza. El equipo es detenido, avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, reparar el equipo y colocar en funcionamiento 8 horas.

					a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar la correa del alternador y colocar en funcionamiento 8 horas.
Suministrar 24 a 27 voltios	A	No suministra de 24 a 27 voltios	10	Torque inadecuado de la tuerca de la polea del alternador	Después de una intervención de mantenimiento es posible que no se de el torque de 70 lb-pie a la tuerca de la polea del alternador, con el funcionamiento y la vibración de la máquina en algún momento la tuerca se suelta y la polea se desliza en el eje del alternador y se pierde la transmisión del movimiento al alternador, este no trabaja, no suministra carga a las baterías, se activa la señal luminosa de advertencia de "carga de la batería" en la pantalla del operador y un código de falla en la pantalla del advisor 0168 F01 de "bajo voltaje en el sistema", cuando el voltaje es igual o inferior a 24,5 v, el voltaje continua disminuyendo y cuando sea igual o inferior a 20 v se activa una alarma de nivel 2, sonora y luminosa en la pantalla del operador y en el advisor el código de falla 0168 F01, y el equipo se neutraliza. El equipo es detenido, avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar el alternador, cambiar la polea del alternador y colocar en funcionamiento 8 horas.
Suministrar 24 a 27 voltios	A	No suministra de 24 a 27 voltios	11	Rodamiento de la polea loca falla	La fricción, los sobreesfuerzos, la contaminación, la tensión de la correa, entre otros, dañan en algún momento el rodamiento de la polea loca y se frena, la polea no se mueve incrementa la fricción de la correa del alternador y se quema y pierde el agarre, a la vez el compresor del aire acondicionado pierde el movimiento y el alternador. La temperatura en la cabina del operador incrementa por encima del valor seteado, y el alternador no suministra carga a las baterías, se activa la señal luminosa de advertencia de "carga de la batería" en la pantalla del operador y un código de falla en la pantalla del advisor 0168 F01 de "bajo voltaje en el sistema", cuando el voltaje es igual o inferior a 24,5 v, el voltaje continua disminuyendo y cuando sea igual o inferior a 20 v se activa una alarma de nivel 2, sonora y luminosa en la pantalla del operador y en el advisor el código de falla 0168 F01, y el equipo se neutraliza. El equipo es detenido, avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar la correa del alternador, cambiar la polea loca y colocar en funcionamiento 8 horas.

Suministrar 24 a 27 voltios	B	Suministra una corriente inferior a 100 A	1	Alternador falla	Si uno de los díodos del alternador se daña el suministro de energía para el sistema de carga de la camión será inferior, porque el alternador pierde la capacidad de generar su máxima carga, en el momento que la máquina entra a funcionar a plena carga y el consumo de corriente sea mayor a la generada por el alternador se presenta una caída de voltaje, si esto sigue incrementando , cuando el voltaje es igual o inferior a 24,5 v, se activa una alarma luminosa de primer nivel en el advisor y la luz de advertencia en la pantalla del operador, si el voltaje continua disminuyendo cuando sea igual o inferior a 20 v se activa una alarma de nivel 2, sonora y luminosa en la pantalla del operador y en el advisor el código de falla 0168 F01, y el equipo se neutraliza. El equipo es detenido, avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar el alternador y colocar en funcionamiento 8 horas.
Suministrar 24 a 27 voltios	B	Suministra una corriente inferior a 100 A	2	Regulador del alternador falla	Si el regulador del alternador falla, el suministro de energía para el sistema de carga de la camión será inferior, el alternador pierde la capacidad de generar su máxima carga, en el momento que la máquina entra a funcionar a plena carga y el consumo de corriente sea mayor a la generada por el alternador se presenta una caída de voltaje, si esto sigue incrementando , cuando el voltaje sea igual o inferior a 24,5 v, se activa una alarma luminosa de primer nivel en el advisor y la luz de advertencia en la pantalla del operador, si el voltaje continua disminuyendo cuando sea igual o inferior a 20 v se activa una alarma de nivel 2, sonora y luminosa en la pantalla del operador y en el advisor el código de falla 0168 F01, y el equipo se neutraliza. El equipo es detenido, avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar el alternador y colocar en funcionamiento 8 horas.
Suministrar 24 a 27 voltios	B	Suministra una corriente inferior a 100 A	3	Capacidad de corriente del alternador menor	Después de una intervención de mantenimiento se puede instalar un alternador con una especificación de corriente inferior, el suministro de energía para el sistema de carga de la camión será inferior, el alternador no cumple con la capacidad de generar la máxima carga requerida por la motoniveladora, en el momento que la máquina entra a funcionar a plena carga y el consumo de corriente sea mayor a la generada por el alternador se presenta una caída de voltaje, si esto sigue incrementando , cuando el voltaje sea igual o inferior a 24,5 v, se activa una alarma luminosa de primer nivel en el advisor y la luz de advertencia en la pantalla del operador, si el voltaje continua disminuyendo cuando sea igual o inferior a 20 v se activa una alarma de nivel 2, sonora y luminosa en la pantalla del operador y en el advisor el código de falla 0168 F01, y el equipo se neutraliza. El equipo es detenido, avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar el alternador y colocar en funcionamiento 8 horas.
Suministrar 24 a 27 voltios	B	Suministra una corriente inferior a 100 A	4	Bobina del rotor del alternador sobrecargada	Si la bobina del rotor del alternador se sobrecarga aumenta su temperatura lo que produce que pierda capacidad de imantación y esto genera una menor

					<p>generación de corriente inferior en el alternador, el suministro de energía para el sistema de carga de la camión será inferior a los 100 A, el alternador no cumple con la capacidad de generar la máxima carga requerida por la motoniveladora, en el momento que la máquina entra a funcionar a plena carga y el consumo de corriente sea mayor a la generada por el alternador se presenta una caída de voltaje, si esto sigue incrementando, cuando el voltaje sea igual o inferior a 24,5 v, se activa una alarma luminosa de primer nivel en el advisor y la luz de advertencia en la pantalla del operador, si el voltaje continua disminuyendo cuando sea igual o inferior a 20 v se activa una alarma de nivel 2, sonora y luminosa en la pantalla del operador y en el advisor el código de falla 0168 F01, y el equipo se neutraliza. El equipo es detenido, avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar el alternador y colocar en funcionamiento 8 horas.</p>
Suministrar 24 a 27 voltios	C	Suministra un voltaje superior a 27 V	1	Regulador del alternador descalibrado por encima de 100 A	<p>Si el regulador del alternador se descalibra por encima de 100 A, el suministro de energía para el sistema de carga de la camión es superior a los 100 A, lo que produce un aumento de voltaje en el sistema de carga en el momento que la máquina trabaje a plena carga se incrementa el voltaje y si llega a 29 v, se activa una alarma luminosa de primer nivel en el advisor y la luz de advertencia en la pantalla del operador, si el voltaje continua aumentando cuando sea igual o superior a 32 v se activa una alarma de nivel 2, sonora y luminosa en la pantalla del operador y en el advisor el código de falla y queda registro un evento de "Alto voltaje en el sistema". Aumenta el riesgo de daño en las baterías, en las luces y en los sistemas electrónicos. El equipo es detenido, avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, cambiar el alternador y colocar en funcionamiento 8 horas.</p>

Anexo 8 - Hoja de decisión del sistema motriz

Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Tareas "a falta de"			Tarea a realizar
F	FF	FM	H	S	E	O				H4	H5	S4	
1	A	1	S	N	N	S	S						Revisar el nivel de combustible en el indicador del panel de instrumentos, si el nivel está igual o por debajo de un 30% solicitar suministro de combustible a base
1	A	2											Ver análisis del sistema de combustible
1	A	3											Ver análisis del sistema eléctrico
1	A	4	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	A	5	S	N	N	S	N	N	N				Rediseño: En el formato de mantenimiento adicionar la tarea "antes de dar encendido a un equipo verifique nivel de aceite motor"
1	A	6											Ver sistema de admisión y escape
1	A	7	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	A	8	S	N	N	S	N	N	N				Rediseño: En procedimiento de la tarea adicionar el torque requerido de los tornillos de la volanta
1	A	9	S	N	N	S	N	N	N				Rediseño: Hacer reentrenamiento para sensibilizar los operadores sobre el uso del interruptor de apagado de emergencia, sólo debe ser usado cuando existe una situación anormal o subestandar.
1	A	10	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	A	11	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	A	12	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	A	13	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	A	14	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	A	15	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	A	16	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	A	17	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	A	18	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	A	19	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	A	20	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	A	21	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	A	22	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	A	23	S	N	N	S	N	S					Limpiar el filtro de admisión de aire primario con 30 psi aire comprimido y cambiar cuando cumpla las 3000 horas
1	B	1	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	B	2	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	B	3	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	B	4	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	B	5	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	B	6	S	N	N	S	S						Inspeccionar si el testigo de daño de bomba de combustible está activada, si lo está cambiar la bomba de inmediato.
1	B	7	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	B	8	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico

1	B	9	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	B	10	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	B	11	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	B	12	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	B	13	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	B	14	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	B	15	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	B	16	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	B	17	S	N	N	S	S						Hacer análisis de aceite del motor para buscar desgaste de componentes, si encuentra cambio en la tendencia de desgaste de Cu > 7 ppm, Fe > 22 ppm, Cr > 2 ppm, Al > 2 ppm, Pb > 2 ppm, Si > 8 ppm, hollin > 2,5%, Na > 45 ppm e ingreso de combustible al aceite. Programar cambio de aceite y filtros del motor, revisar herméticamente el motor, revisar relación aire combustible, revisar presión de la bomba de transferencia, defina si hay que cambiar motor.
1	B	18	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	B	19	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	B	20	S	N	N	S	S						Hacer análisis de aceite del motor para buscar desgaste de componentes, si encuentra cambio en la tendencia de desgaste de Cu > 7 ppm, Fe > 22 ppm, Cr > 2 ppm, Al > 2 ppm, Pb > 2 ppm, Si > 8 ppm, hollin > 2,5%, Na > 45 ppm e ingreso de combustible al aceite. Programar cambio de aceite y filtros del motor, revisar herméticamente el motor, revisar relación aire combustible, revisar presión de la bomba de transferencia, defina si hay que cambiar motor.
1	B	21	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	B	22	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	B	23	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	B	24	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	B	25	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	B	26	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	B	27	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	B	28	S	N	N	S	S						Hacer análisis de aceite del motor para buscar desgaste de componentes, si encuentra cambio en la tendencia de desgaste de Cu > 7 ppm, Fe > 22 ppm, Cr > 2 ppm, Al > 2 ppm, Pb > 2 ppm, Si > 8 ppm, hollin > 2,5%, Na > 45 ppm e ingreso de combustible al aceite. Programar cambio de aceite y filtros del motor, revisar herméticamente el motor, revisar relación aire combustible, revisar presión de la

													bomba de transferencia, defina si hay que cambiar motor.
1	B	29	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico

Anexo 9 - Hoja de decisión del sistema de tren de potencia

Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Tareas "a falta de"			Tarea a realizar
F	FF	FM	H	S	E	O				H4	H5	S4	
1	A	1											Ver análisis del sistema motriz
1	A	2											Ver análisis del sistema eléctrico
1	A	3	S	N	N	S	S						Hacer análisis de aceite de la transmisión para revisar desgaste de la bomba de carga del convertidor, cuando los elementos cambien la tendencia, si hay Fe >17 ppm, Al >2 ppm, Si >9 ppm, realizar cambio de aceite y de filtros, revisar presión de la bomba de carga si es inferior a 165 psi y presión del convertidor, programar cambio de bomba de carga del convertidor
1	A	4	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	A	5	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	A	6	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	A	7	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	A	8	S	N	N	S	N	N	N				Rediseño: En el procedimiento de instalación de la cruceta del convertidor colocar el torque que debe darse a los tornillos que sujetan la cruceta del convertidor.
1	A	9	S	N	N	S	N	N	N				Rediseño: En el procedimiento de instalación de la cruceta del convertidor colocar la manera como debe ser instalada la cruceta del convertidor
1	A	10	S	N	N	S	N	N	N				Rediseño: En el procedimiento de instalación de la cruceta del convertidor colocar la grasa que debe suministrarse para que logre la lubricación a la junta deslizante del eje cardán
1	A	11	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	A	12	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	A	13	S	N	N	S	N	N	N				Rediseño: En el procedimiento de instalación de la cruceta de entrada de la transmisión colocar el torque que debe darse a los tornillos que sujetan la cruceta del convertidor.
1	A	14	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	A	15	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	A	16	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	A	17	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	A	18	S	N	N	S	S						Hacer análisis de aceite de la transmisión para revisar desgaste de la bomba de carga de la transmisión, cuando los

												elementos cambien la tendencia, si hay Fe >17 ppm, Al >2 ppm, Si >9 ppm, realizar cambio de aceite y de filtros, revisar presión de la bomba de carga de la transmisión si es inferior a y presión, programar cambio del grupo de bombas.
1	A	19	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento periódico
1	A	20	S	N	N	S	S					Hacer análisis de aceite de la transmisión para revisar desgaste de componentes internos, cuando los elementos cambien la tendencia, si hay Cu >76 ppm, Fe >17 ppm, Cr > 2 ppm, Al >2 ppm, Pb >13 ppm, Si >9 ppm, realizar cambio de aceite y de filtros, revisar presión de embrague y presión del convertidor, revisar códigos de abusos de la transmisión y programar el cambio de la transmisión
1	A	21	S	N	N	S	S					Hacer análisis de aceite de la transmisión para revisar la contaminación, cuando encuentre un código ISO 4406 22/20/19, programar cambio de aceite de la transmisión y filtro de la transmisión.
1	A	22	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento periódico
1	A	23	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento periódico
1	A	24	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento periódico
1	A	25	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento periódico
1	A	26	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento periódico
1	A	27	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento periódico
1	A	28	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento periódico
1	A	29	S	S			S					Hacer análisis de aceite de las ruedas delanteras, verificar tendencia de desgaste y si encuentra los valores; Cu > 4 ppm, Fe > 31 ppm, Cr > 2 ppm, Al > 2 ppm, Pb > 2 ppm y contaminantes como el Si > 26 ppm y H2O > 0,5%, revisar el tapón imantado, cambie aceite, realice flushing y tome muestra, programar cambio de rodamiento de la ruedas delanteras.
1	A	30	S	S			S					Hacer análisis de aceite de las ruedas delanteras, verificar estado del aceite y si encuentra los valores de contaminantes como el Si > 26 ppm y H2O > 0,5% y la viscosidad en inferior a 24, 4 cSt @100°C y código ISO 4406 24/22/19 cambie de inmediato el aceite y realice flushing

1	A	31	S	S			S					Hacer análisis de aceite de las ruedas delanteras, verificar estado del aceite y si encuentra los valores de contaminantes como el Si > 26 ppm y H2O > 0,5% y la viscosidad en inferior a 24, 4 cSt @100°C y código ISO 4406 24/22/19 cambie de inmediato el aceite y realice flushing
1	A	32	S	S			S					Hacer análisis de aceite de las ruedas delanteras, verificar estado del aceite y si encuentra los valores de contaminantes como el Si > 26 ppm y H2O > 0,5% y la viscosidad en inferior a 24, 4 cSt @100°C y código ISO 4406 24/22/19 cambie de inmediato el aceite y realice flushing
1	A	33										Ver análisis del sistema de dirección
1	A	34	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento periódico
1	A	35	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento periódico
1	A	36	S	N	N	S	S					Hacer análisis de vibraciones a los rodamientos de los ejes de transmisión, si la vibración es 50 ips, programar cambio de rodamientos del eje de la transmisión
1	A	37	S	N	N	S	S					Hacer análisis de aceite del diferencial y mandos finales si los valores son mayores: Fe > 59 ppm, Cu > 31 ppm, Si > 19 ppm, Al> 2 ppm, Cr > 2 ppm, Pb> 2 ppm, viscosidad < 24, 4 cSt @100°C, inspeccionar por fuga interna en los mandos finales, revisar el tapón imantado para verificar partículas metálicas mayores a 50 micras en los mandos finales, cambiar aceite y realizar flushing, confirmar para programar cambiar mando final.
1	A	38	S	N	N	S	S					Hacer análisis de aceite del diferencial y mandos finales si los valores son mayores: Fe > 59 ppm, Cu > 31 ppm, Si > 19 ppm, Al> 2 ppm, Cr > 2 ppm, Pb> 2 ppm, viscosidad < 24, 4 cSt @100°C, inspeccionar por fuga interna en los mandos finales, revisar el tapón imantado para verificar partículas metálicas mayores a 50 micras en los mandos finales, cambiar aceite y realizar flushing, confirmar para programar cambiar mando final.
1	A	39	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento periódico

1	A	40	S	N	N	S	S					Hacer análisis de aceite del diferencial y mandos finales si los valores son mayores: Fe > 59 ppm, Cu > 31 ppm, Si > 19 ppm, Al> 2 ppm, Cr > 2 ppm, Pb> 2 ppm, viscosidad < 24, 4 cSt @100°C, inspeccionar por fuga interna en los mandos finales, revisar el tapón imantado para verificar partículas metálicas mayores a 50 micras en los mandos finales, cambiar aceite y realizar flushing, confirmar para programar cambiar mando final.
1	A	41	S	N	N	S	S					Hacer análisis de aceite del diferencial y mandos finales si los valores son mayores: Fe > 59 ppm, Cu > 31 ppm, Si > 19 ppm, Al> 2 ppm, Cr > 2 ppm, Pb> 2 ppm, viscosidad < 24, 4 cSt @100°C, inspeccionar por fuga interna en los mandos finales, revisar el tapón imantado para verificar partículas metálicas mayores a 50 micras en los mandos finales, cambiar aceite y realizar flushing, confirmar para programar cambiar mando final.
1	A	42	S	N	N	S	S					Hacer análisis de aceite del diferencial y mandos finales si los valores son mayores: Fe > 59 ppm, Cu > 31 ppm, Si > 19 ppm, Al> 2 ppm, Cr > 2 ppm, Pb> 2 ppm, viscosidad < 24, 4 cSt @100°C, inspeccionar por fuga interna en los mandos finales, revisar el tapón imantado para verificar partículas metálicas mayores a 50 micras en los mandos finales, cambiar aceite y realizar flushing, confirmar para programar cambiar mando final.
1	A	43	S	N	N	S	S					Hacer análisis de aceite del diferencial y mandos finales si los valores son mayores: Fe > 59 ppm, Cu > 31 ppm, Si > 19 ppm, Al> 2 ppm, Cr > 2 ppm, Pb> 2 ppm, viscosidad < 24, 4 cSt @100°C, inspeccionar por fuga interna en los mandos finales, revisar el tapón imantado para verificar partículas metálicas mayores a 50 micras en los mandos finales, cambiar aceite y realizar flushing, confirmar para programar cambiar mando final.
1	B	1	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento periódico
1	B	2	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento periódico
1	B	3	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento periódico

1	B	4	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	B	5	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	B	6	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	C	1	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	C	2	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	C	3	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	C	4	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	C	5	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	C	6	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	C	7	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	C	8	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	C	9	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	C	10	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	C	11	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	C	12	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico

Anexo 10 - Hoja de decisión del sistema de freno

Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Tareas "a falta de"			Tarea a realizar
F	FF	FM	H	S	E	O				H4	H5	S4	
1	A	1	S	S			N	N	N			N	Rediseño obligatorio: En el arranque de turno luego de encender el camión moverlo y aplicar el freno de servicio, para determinar si funciona. (Actualizar la lista de chequeo del operador)
1	A	2	S	S			N	N	N			N	Rediseño obligatorio: En el arranque de turno luego de encender el camión moverlo y aplicar el freno de servicio, para determinar si funciona. (Actualizar la lista de chequeo del operador)
1	A	3	S	S			N	N	N			N	Rediseño obligatorio: En el arranque de turno luego de encender el camión moverlo y aplicar el freno de servicio, para determinar si funciona.
1	A	4	S	N	N	S	S						Hacer análisis de aceite de los frenos, si encuentra 100 ppm de 400, revisar presión de la bomba de frenos y programar cambio si está un 20% por debajo del valor trabajo.
1	A	5	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	A	6	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	A	7	S	N	N	S	N	N	N				Rediseño: Reentrenar a los mecánicos y electricistas en el proceso de cambio de compentes del sistema de frenos de servicio y recordar la importancia de realizar la purga de aire.
1	A	8	S	N	N	S	N	N	N				Rediseño: Agregar en el procedimiento de cambio acumuladores confirmar la carga de nitrógeno de los acumuladores del freno de servicio
1	B	1	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	B	2	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	B	3	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	B	4	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	B	5	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	B	6	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	B	7	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	B	8	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	B	9	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	B	10	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	B	11	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico

Anexo 11 - Hoja de decisión del sistema hidráulico

Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Tareas "a falta de"			Tarea a realizar
F	FF	FM	H	S	E	O				H4	H5	S4	
1	A	1	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	A	2	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	A	3	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	A	4	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	A	5	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	A	6	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	A	7	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	A	8											Ver análisis del sistema de frenos
1	A	9	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	A	10	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	A	11	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	A	12	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	A	13	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	A	14	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	A	15	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	B	1	S	N	N	S	S						Hacer análisis de aceite hidráulico de levante y evaluar las ppm que muestran el desgaste de componentes, cuando el valor de Cu >17 ppm, Fe >09 ppm, Cr >2 ppm, Al >3 ppm, Pb > 2 ppm, Si >40 ppm, % de H2O > 0,5 ppm cambiar aceite, volver a tomar muestra y evaluar caudal y presión de la bomba de levante y bomba de frenos y revisar hermeticidad del sistema para evitar entrada de Si y H2O y eficiencia de válvula de control de levante
1	B	2	S	N	N	S	S						Hacer análisis de aceite hidráulico de levante y evaluar la degradación de los aditivos del aceite, cuando el valor viscosidad este por fuera de 6,3 cSt, oxidación > 25, programar cambio de aceite hidráulico y cambio de filtro hidráulico, y hacer nueva toma de muestra.
1	B	3	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	B	4	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	B	5	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	B	6	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	B	7	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	B	8	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	B	9	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico

Anexo 12 - Hoja de decisión del sistema de dirección

Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Tareas "a falta de"			Tarea a realizar
F	FF	FM	H	S	E	O				H4	H5	S4	
1	A	1	S	S			N	N	N			N	Rediseño obligatorio: Hacer que se cumpla la entrega del equipo con prueba de campo operador y mantenedor y aplicar procedimiento de entrega del equipo
1	A	2	S	S			N	N	N			N	Rediseño obligatorio: Agregar en el procedimiento de cambio de HMU la revisión del ajuste de los tornillos.
1	A	5	S	S			N	N	N			N	Rediseño obligatorio: Agregar en el procedimiento de cambio de terminal, de alineación y cambio de barras de la dirección, dar el torque 210 lb-pie y la posición de la abrazadera
1	A	6	S	N	S		N	N	N			N	Rediseño obligatorio: Reporte de evento no deseado al medio ambiente a cargo de supervisor de operación mina según procedimiento.
1	A	7	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	B	1	S	N	N	S	S						Hacer análisis de aceite de la dirección y evaluar las ppm, cuando el valor de Cu >4 ppm, Fe >10 ppm, Cr >2 ppm, Al >10 ppm, Pb > 2 ppm, Si >18 ppm, % de H2O > 0,5 ppm cambiar aceite, volver a tomar muestra y evaluar caudal y presión de la bomba de dirección principal y revisar hermeticidad del sistema para evitar entrada de Si y H2O y Eficiencia de válvula de control de dirección
1	B	2	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	B	3	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	B	4	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	B	5	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	B	6	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	B	7	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento periódico
1	B	8	S	N	N	S	N	N	N				Rediseño: Agregar al procedimiento de cambio de bomba de la dirección o de un componente mayor el instructivo de cómo hacer el proceso de desaire del sistema de dirección

Anexo 13 - Hoja de decisión del sistema estructural

Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Tareas "a falta de"			Tarea a realizar
F	FF	FM	H	S	E	O				H4	H5	S4	
1	A	1	S	S			S						Medir el juego entre el pin y el buje de la barra estabilizadora, debe estar en 2 mm, si es 5 programar cambio
1	A	2	S	S			S						Medir el juego entre el pin y el buje de la barra estabilizadora, debe estar en 2 mm, si es 5 programar cambio
1	A	3	S	S			S						Medir el juego entre la barra estabilizadora y el pin de la barra, debe estar en 5 mm, si es 5 mm programar cambio de rotula
2	A	1	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento preventivo
2	A	2	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento preventivo
2	A	3	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento preventivo
2	A	4	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento preventivo
2	A	5	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento preventivo
3	A	1	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento preventivo
3	A	2	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento preventivo
3	A	3	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento preventivo
3	A	4	S	N	N	S	N	N	N				Revisar el procedimiento de calibración de cilindro de suspensión y agregar la actividad de la manera adecuada de instalar las cubiertas sino existe. Divulgar y entrenar.
3	A	5	S	N	N	S	S						Inspeccionar aparición de grietas en la superficie de la cubierta de los cilindros de suspensión trasera, si hay grietas programar cambio
4	A	1	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento preventivo
4	A	2	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento preventivo
4	A	3	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento preventivo
4	A	4	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento preventivo
4	A	5	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento preventivo
5	A	1	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento preventivo
5	A	2	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento preventivo
6	A	1	S	S			N	N	N			N	Revisar el protocolo de operación del cargador, actualizarlo y divulgarlo.
6	A	2	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento preventivo

Anexo 14 - Hoja de decisión del sistema eléctrico y electrónico

Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Tareas "a falta de"			Tarea a realizar
F	FF	FM	H	S	E	O				H4	H5	S4	
1	A	1	S	N	N	S	N	N	N				Rediseño: Revisar programa de cambio de baterías por descargadas y no por dañadas, control de las garantías. Cuantas baterías se han cambiado en el último año y cuánto vale una batería.
1	A	2	S	N	N	S	N	N	N				Rediseño: Revisar programa de cambio de baterías están cambiando baterías cuando están descargando, aumenta el daño ambiental por mayor consumo
1	A	3	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento preventivo
1	A	4	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento preventivo
1	A	5	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento preventivo
1	A	6	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento preventivo
1	A	7	S	N	N	S	S						Hacer inspección visual de la superficie de correa del alternador, si la encuentra agrietada cambiar de inmediato.
1	A	8	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento preventivo
1	A	9	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento preventivo
1	A	10	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento preventivo
1	A	11	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento preventivo
1	B	1	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento preventivo
1	B	2	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento preventivo
1	B	3	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento preventivo
1	B	4	S	N	N	S	S						Medir la deflexión de la correa con debe una comba entre 14 a 20 mm bajo una fuerza de 90 lb p, si baja más de 20 tensionar la correa.
1	C	1	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento preventivo

Anexo 15 - Especificación de las tareas del sistema motriz

Ítem	Tarea a realizar	Frecuencia inicial	A realizar por	Comentarios / Observaciones	Tipo de tarea
1A1	Revisar el nivel de combustible en el indicador del panel de instrumentos, si el nivel está igual o por debajo de un 30% solicitar suministro de combustible a base	Cada inicio de turno	Operador de camión		
1A2	Ver análisis del sistema de combustible				Análisis por separado
1A3	Ver análisis del sistema eléctrico				Análisis por separado
1A4	Ningún mantenimiento periódico			ECM del motor	Inventarios
1A5	Rediseño: En el formato de mantenimiento adicionar la tarea "antes de dar encendido a un equipo verifique nivel de aceite motor"		Ingeniero de confiabilidad		Rediseños
1A6	Ver sistema de admisión y escape				Análisis por separado
1A7	Ningún mantenimiento periódico			Volanta del motor - PD	Inventarios
1A8	Rediseño: En procedimiento de la tarea adicionar el torque requerido de los tornillos de la volanta		Ingeniero de confiabilidad		Rediseños
1A9	Rediseño: Hacer reentrenamiento para sensibilizar los operadores sobre el uso del interruptor de apagado de emergencia, sólo debe ser usado cuando existe una situación anormal o subestandar.		Ingeniero de confiabilidad		Rediseños
1A10	Ningún mantenimiento periódico			Sensor de velocidad y tiempo primario V1	Inventarios
1A11	Ningún mantenimiento periódico				
1A12	Ningún mantenimiento periódico			Interruptor de encendido V1	Inventarios
1A13	Ningún mantenimiento periódico				
1A14	Ningún mantenimiento periódico			Relay del circuito de activación del Starte al ECM de la transmisión, V1	Inventarios
1A15	Ningún mantenimiento periódico			Motor diesel, cambio	Inventarios
1A16	Ningún mantenimiento periódico			Motor de arranque V1	Inventarios
1A17	Ningún mantenimiento periódico			Interruptor máster V1	Inventarios
1A18	Ningún mantenimiento periódico			Fusible de 15 A V1	Inventarios
1A19	Ningún mantenimiento periódico			Breaker de 90 A V1	Inventarios
1A20	Ningún mantenimiento periódico			Fusible de 10 A V1	Inventarios
1A21	Ningún mantenimiento periódico			Fusible de 15 A V1	Inventarios
1A22	Ningún mantenimiento periódico			Relay mainpower V1	Inventarios
1A23	Limpiar el filtro de admisión de aire primario con 30 psi aire comprimido y cambiar cuando cumpla las 3000 horas	500 horas	Lubricador	Filtro de admisión de aire primario	Inventarios

1B1	Ningún mantenimiento periódico			Filtro de admisión de aire secundario	Inventarios
1B2	Ningún mantenimiento periódico			Sello del separador de agua de combustible PN:220-8678 Vaso es PN: 343-5527	Inventarios
1B3	Ningún mantenimiento periódico				
1B4	Ningún mantenimiento periódico			Sensor de presión atmosférico	Inventarios
1B5	Ningún mantenimiento periódico			Combustible	Inventarios
1B6	Inspeccionar si el testigo de daño de bomba de combustible está activada, si lo está cambiar la bomba de inmediato.	1000 horas	Mecánico	Bomba de transferencia	Inventarios
1B7	Ningún mantenimiento periódico			Válvula reguladora de presión de combustible	Inventarios
1B8	Ningún mantenimiento periódico			Sensor de temperatura de refrigerante	Inventarios
1B9	Ningún mantenimiento periódico			Sensor de presión de refuerzo	Inventarios
1B10	Ningún mantenimiento periódico			Posenfriador	Inventarios
1B11	Ningún mantenimiento periódico			Empaque del múltiple de escape	Inventarios
1B12	Ningún mantenimiento periódico			Abrazadera de la carcasa caliente	Inventarios
1B13	Ningún mantenimiento periódico			Sensor de presión de combustible	Inventarios
1B14	Ningún mantenimiento periódico			Inyector del sistema de combustible	Inventarios
1B15	Ningún mantenimiento periódico			Sellos de montaje de los inyectores	Inventarios
1B16	Ningún mantenimiento periódico			Motor diésel	Inventarios
1B17	Hacer análisis de aceite del motor para buscar desgaste de componentes, si encuentra cambio en la tendencia de desgaste de Cu > 7 ppm, Fe > 22 ppm, Cr > 2 ppm, Al > 2 ppm, Pb > 2 ppm, Si > 8 ppm, hollin > 2,5%, Na > 45 ppm e ingreso de combustible al aceite. Programar cambio de aceite y filtros del motor, revisar herméticamente el motor, revisar relación aire combustible, revisar presión de la bomba de transferencia, defina si hay que cambiar motor.	500 horas	Lubricador	Motor diésel	Inventarios
1B18	Ningún mantenimiento periódico				
1B19	Ningún mantenimiento periódico				
1B20	Hacer análisis de aceite del motor para buscar desgaste de componentes, si encuentra cambio en la tendencia de desgaste de Cu > 7 ppm, Fe > 22 ppm, Cr > 2 ppm, Al > 2 ppm, Pb > 2 ppm, Si > 8 ppm, hollin > 2,5%, Na > 45 ppm e ingreso de combustible al aceite. Programar cambio de aceite y filtros del motor, revisar herméticamente el motor, revisar relación aire combustible, revisar presión de la bomba de transferencia, defina si hay que cambiar motor.	500 horas	Lubricador		

1B21	Ningún mantenimiento periódico			Empaque de culata	Inventarios
1B22	Ningún mantenimiento periódico			Culata del motor	Inventarios
1B23	Ningún mantenimiento periódico			Sensor de posición del acelerador	Inventarios
1B24	Ningún mantenimiento periódico				
1B25	Ningún mantenimiento periódico				
1B26	Ningún mantenimiento periódico			Conectores del circuito del sensor de posición del acelerador	Inventarios
1B27	Ningún mantenimiento periódico				
1B28	Hacer análisis de aceite del motor para buscar desgaste de componentes, si encuentra cambio en la tendencia de desgaste de Cu > 7 ppm, Fe > 22 ppm, Cr > 2 ppm, Al > 2 ppm, Pb > 2 ppm, Si > 8 ppm, hollín > 2,5%, Na > 45 ppm e ingreso de combustible al aceite. Programar cambio de aceite y filtros del motor, revisar herméticamente el motor, revisar relación aire combustible, revisar presión de la bomba de transferencia, defina si hay que cambiar motor.	500 horas	Lubricador		
1B29	Ningún mantenimiento periódico			Interruptor de traba del acelerador	Inventarios

Anexo 16 - Especificación de las tareas del sistema de tren de potencia

Ítem	Tarea a realizar	Frecuencia inicial	A realizar por	Comentarios / Observaciones	Tipo de tarea
1A1	Ver análisis del sistema motriz				Análisis por separado
1A2	Ver análisis del sistema eléctrico				Análisis por separado
1A3	Hacer análisis de aceite de la transmisión para revisar desgaste de la bomba de carga del convertidor, cuando los elementos cambien la tendencia, si hay Fe >17 ppm, Al >2 ppm, Si >9 ppm, realizar cambio de aceite y de filtros, revisar presión de la bomba de carga si es inferior a 165 psi y presión del convertidor, programar cambio de bomba de carga del convertidor	500 horas	Lubricador	Grupo de bomba de transmisión y convertidor de par	Inventarios
1A4	Ningún mantenimiento periódico				
1A5	Ningún mantenimiento periódico			Yoke del convertidor	Inventarios
1A6	Ningún mantenimiento periódico			Cruceta del convertidor	Inventarios
1A7	Ningún mantenimiento periódico			Eje cardán	Inventarios
1A8	Rediseño: En el procedimiento de instalación de la cruceta del convertidor colocar el torque que debe darse a los tornillos que sujetan la cruceta del convertidor.		Ingeniero de confiabilidad	Tornillos de la cruceta del convertidor	Rediseños
1A9	Rediseño: En el procedimiento de instalación de la cruceta del convertidor colocar la manera como debe ser instalada la cruceta del convertidor		Ingeniero de confiabilidad	Cruceta del convertidor	Rediseños
1A10	Rediseño: En el procedimiento de instalación de la cruceta del convertidor colocar la grasa que debe suministrarse para que logre la lubricación a la junta deslizante del eje cardán		Ingeniero de confiabilidad	Junta deslizante (botella) del eje cardán	Rediseños
1A11	Ningún mantenimiento periódico			Eje cardán	Inventarios
1A12	Ningún mantenimiento periódico			Cruceta de entrada de la transmisión	Inventarios
1A13	Rediseño: En el procedimiento de instalación de la cruceta de entrada de la transmisión colocar el torque que debe darse a los tornillos que sujetan la cruceta del convertidor.		Ingeniero de confiabilidad	Tornillos de la cruceta de entrada de la transmisión	Rediseños
1A14	Ningún mantenimiento periódico			Yoke de entrada a la transmisión	Inventarios
1A15	Ningún mantenimiento periódico			Cruceta de la transmisión	Inventarios
1A16	Ningún mantenimiento periódico			Conector de la solenoide de los embragues	Inventarios
1A17	Ningún mantenimiento periódico			Conector de la solenoide de los embragues	Inventarios
1A18	Hacer análisis de aceite de la transmisión para revisar desgaste de la bomba de carga de la transmisión, cuando los elementos cambien la tendencia, si hay Fe >17 ppm, Al >2 ppm, Si >9 ppm, 1realizar cambio de aceite y de	500 horas	Lubricador	Grupo de bomba de transmisión y convertidor de par	Inventarios

	filtros, revisar presión de la bomba de carga de la transmisión si es inferior a y presión, programar cambio del grupo de bombas.				
1A19	Ningún mantenimiento periódico				
1A20	Hacer análisis de aceite de la transmisión para revisar desgaste de componentes internos, cuando los elementos cambien la tendencia, si hay Cu >76 ppm, Fe >17 ppm, Cr > 2 ppm, Al >2 ppm, Pb >13 ppm, Si >9 ppm, realizar cambio de aceite y de filtros, revisar presión de embrague y presión del convertidor, revisar códigos de abusos de la transmisión y programar el cambio de la transmisión	500 horas	lubricador	Transmisión	Inventarios
1A21	Hacer análisis de aceite de la transmisión para revisar la contaminación, cuando encuentre un código ISO 4406 22/20/19, programar cambio de aceite de la transmisión y filtro de la transmisión.	500 horas	Lubricador	Transmisión	Inventarios
1A22	Ningún mantenimiento periódico			Eje de los mandos finales	Inventarios
1A23	Ningún mantenimiento periódico			ECM de la transmisión	Inventarios
1A24	Ningún mantenimiento periódico			Diferencial	Inventarios
1A25	Ningún mantenimiento periódico			Piñón solar del eje	Inventarios
1A26	Ningún mantenimiento periódico			Interruptor de freno de parqueo	Inventarios
1A27	Ningún mantenimiento periódico				
1A28	Ningún mantenimiento periódico			Válvula solenoide del freno de parqueo	Inventarios
1A29	Hacer análisis de aceite de las ruedas delanteras, verificar tendencia de desgaste y si encuentra los valores; Cu > 4 ppm, Fe > 31 ppm, Cr > 2 ppm, Al > 2 ppm, Pb > 2 ppm y contaminantes como el Si > 26 ppm y H2O > 0,5%, revisar el tapón imantado, cambie aceite, realice flushing y tome muestra, programar cambio de rodamiento de la ruedas delanteras.	500 horas	Lubricador	Válvula de la solenoide del freno de parqueo	Inventarios
1A30	Hacer análisis de aceite de las ruedas delanteras, verificar estado del aceite y si encuentra los valores de contaminantes como el Si > 26 ppm y H2O > 0,5% y la viscosidad en inferior a 24, 4 cSt @100°C y código ISO 4406 24/22/19 cambie de inmediato el aceite y realice flushing	500 horas	lubricador	Rodamientos de las ruedas delanteras	Inventarios
1A31	Hacer análisis de aceite de las ruedas delanteras, verificar estado del aceite y si encuentra los valores de contaminantes como el Si > 26 ppm y H2O > 0,5% y la viscosidad en inferior a 24, 4 cSt @100°C y código ISO 4406 24/22/19 cambie	500 horas	lubricador	Rodamientos de las ruedas delanteras	Inventarios

	de inmediato el aceite y realice flushing				
1A32	Hacer análisis de aceite de las ruedas delanteras, verificar estado del aceite y si encuentra los valores de contaminantes como el Si > 26 ppm y H2O > 0,5% y la viscosidad en inferior a 24, 4 cSt @100°C y código ISO 4406 24/22/19 cambie de inmediato el aceite y realice flushing	500 horas	lubricador	Rodamientos de la ruedas delanteras	Inventarios
1A33	Ver análisis del sistema de dirección				Análisis por separado
1A34	Ningún mantenimiento periódico			Manguera o tubo de succión de la bomba de carga de la transmisión	Inventarios
1A35	Ningún mantenimiento periódico			Válvula de alivio principal de la transmisión	Inventarios
1A36	Hacer análisis de vibraciones a los rodamientos de los ejes de transmisión, si la vibración es 35 ips, programar cambio de rodamientos del eje de la transmisión	1000 horas	SKF?	Transmisión	Inventarios
1A37	Hacer análisis de aceite del diferencial y mandos finales si los valores son mayores: Fe > 59 ppm, Cu > 31 ppm, Si > 19 ppm, Al > 2 ppm, Cr > 2 ppm, Pb > 2 ppm, viscosidad < 24, 4 cSt @100°C, inspeccionar por fuga interna en los mandos finales, revisar el tapón imantado para verificar partículas metálicas mayores a 50 micras en los mandos finales, cambiar aceite y realizar flushing, confirmar para programar cambiar mando final.	500 horas	Lubricador	Piñón de ataque (speed) del diferencial	Inventarios
1A38	Hacer análisis de aceite del diferencial y mandos finales si los valores son mayores: Fe > 59 ppm, Cu > 31 ppm, Si > 19 ppm, Al > 2 ppm, Cr > 2 ppm, Pb > 2 ppm, viscosidad < 24, 4 cSt @100°C, inspeccionar por fuga interna en los mandos finales, revisar el tapón imantado para verificar partículas metálicas mayores a 50 micras en los mandos finales, cambiar aceite y realizar flushing, confirmar para programar cambiar mando final.	500 horas	Lubricador	Mando final	Inventarios
1A39	Ningún mantenimiento periódico				
1A40	Hacer análisis de aceite del diferencial y mandos finales si los valores son mayores: Fe > 59 ppm, Cu > 31 ppm, Si > 19 ppm, Al > 2 ppm, Cr > 2 ppm, Pb > 2 ppm, viscosidad < 24, 4 cSt @100°C, inspeccionar por fuga interna en los mandos finales, revisar el tapón imantado para verificar partículas	500 horas	Lubricador	Rodamientos del piñón de ataque	Inventarios

	metalicas mayores a 50 micras en los mandos finales, cambiar aceite y realizar flushing, confirmar para programar cambiar mando final.				
1A41	Hacer análisis de aceite del diferencial y mandos finales si los valores son mayores: Fe > 59 ppm, Cu > 31 ppm, Si > 19 ppm, Al> 2 ppm, Cr > 2 ppm, Pb> 2 ppm, viscosidad < 24, 4 cSt @100°C, inspeccionar por fuga interna en los mandos finales, revisar el tapón imantado para verificar particulas metalicas mayores a 50 micras en los mandos finales, cambiar aceite y realizar flushing, confirmar para programar cambiar mando final.	500 horas	Lubricador	Rodamientos del envolvente de la corona	Inventarios
1A42	Hacer análisis de aceite del diferencial y mandos finales si los valores son mayores: Fe > 59 ppm, Cu > 31 ppm, Si > 19 ppm, Al> 2 ppm, Cr > 2 ppm, Pb> 2 ppm, viscosidad < 24, 4 cSt @100°C, inspeccionar por fuga interna en los mandos finales, revisar el tapón imantado para verificar particulas metalicas mayores a 50 micras en los mandos finales, cambiar aceite y realizar flushing, confirmar para programar cambiar mando final.	500 horas	Lubricador	Diferencial	Inventarios
1A43	Hacer análisis de aceite del diferencial y mandos finales si los valores son mayores: Fe > 59 ppm, Cu > 31 ppm, Si > 19 ppm, Al> 2 ppm, Cr > 2 ppm, Pb> 2 ppm, viscosidad < 24, 4 cSt @100°C, inspeccionar por fuga interna en los mandos finales, revisar el tapón imantado para verificar particulas metalicas mayores a 50 micras en los mandos finales, cambiar aceite y realizar flushing, confirmar para programar cambiar mando final.	500 horas	Lubricador	Corona del mando final desgastada	Inventarios
1B1	Ningún mantenimiento periódico			Sensor de posición de la palanca de levante	Inventarios
1B2	Ningún mantenimiento periódico				
1B3	Ningún mantenimiento periódico			Solenoide del embrague No. 1 ó No.7	Inventarios
1B4	Ningún mantenimiento periódico				
1B5	Ningún mantenimiento periódico			ECM de la transmisión	Inventarios
1B6	Ningún mantenimiento periódico			Fusible de 15 A	Inventarios
1C1	Ningún mantenimiento periódico			Solenoide 1 y/o 4 de los embragues	Inventarios
1C2	Ningún mantenimiento periódico				
1C3	Ningún mantenimiento periódico			Interruptor de tolva arriba	Inventarios
1C4	Ningún mantenimiento periódico			Sensor de aceleración	Inventarios
1C5	Ningún mantenimiento periódico			Pedal modulador	Inventarios
1C6	Ningún mantenimiento periódico				
1C7	Ningún mantenimiento periódico			Botón de selección de cambio	Inventarios
1C8	Ningún mantenimiento periódico			Válvula lock up	Inventarios
1C9	Ningún mantenimiento periódico				

IC10	Ningún mantenimiento periódico			Solenoide de la válvula lock up	Inventarios
IC11	Ningún mantenimiento periódico			Válvula del pedal de freno de servicio	Inventarios
IC12	Ningún mantenimiento periódico			Freno de servicio	Inventarios

Anexo 17 - Especificación de las tareas del sistema de freno

Ítem	Tarea a realizar	Frecuencia inicial	A realizar por	Comentarios / Observaciones	Tipo de tarea
1A1	Rediseño obligatorio: En el arranque de turno luego de encender el camión moverlo y aplicar el freno de servicio, para determinar si funciona. (Actualizar la lista de chequeo del operador)		Ingeniero de confiabilidad	En el arranque de turno luego de encender el camión moverlo y aplicar el freno de servicio, para determinar si funciona. (Actualizar la lista de chequeo del operador)	Rediseños
1A2	Rediseño obligatorio: En el arranque de turno luego de encender el camión moverlo y aplicar el freno de servicio, para determinar si funciona. (Actualizar la lista de chequeo del operador)		Ingeniero de confiabilidad	En el arranque de turno luego de encender el camión moverlo y aplicar el freno de servicio, para determinar si funciona. (Actualizar la lista de chequeo del operador)	Rediseños
1A3	Rediseño obligatorio: En el arranque de turno luego de encender el camión moverlo y aplicar el freno de servicio, para determinar si funciona. (Actualizar la lista de chequeo del operador)		Ingeniero de confiabilidad	En el arranque de turno luego de encender el camión moverlo y aplicar el freno de servicio, para determinar si funciona. (Actualizar la lista de chequeo del operador)	Rediseños
1A4	Hacer análisis de aceite de los frenos, si encuentra 2 ppm de 5, revisar presión de la bomba de frenos y programar cambio si está un 20% por debajo del valor trabajo.	500 horas	Lubricador	Bomba del sistema de frenos	Inventarios
1A5	Ningún mantenimiento periódico				
1A6	Ningún mantenimiento periódico				
1A7	Rediseño: Reentrenar a los mecánicos y electricistas en el proceso de cambio de compentes del sistema de frenos de servicio y recordar la importancia de realizar la purga de aire.		Ingeniero de confiabilidad		
1A8	Rediseño: Agregar en el procedimiento de cambio acumuladores confirmar la carga de nitrógeno de los acumuladores del freno de servicio		Ingeniero de confiabilidad		
1B1	Ningún mantenimiento periódico			Sensor de posición del pedal de freno de servicio	Inventarios
1B2	Ningún mantenimiento periódico				
1B3	Ningún mantenimiento periódico			Válvula de servicio del freno delantero	Inventarios
1B4	Ningún mantenimiento periódico			Solenoide de freno delantero	Inventarios
1B5	Ningún mantenimiento periódico				
1B6	Ningún mantenimiento periódico			Ajustador de freno delantero	Inventarios
1B7	Ningún mantenimiento periódico			Ajustador de freno trasero	Inventarios
1B8	Ningún mantenimiento periódico			Paquete de freno delantero y paquete de frenos trasero	Inventarios
1B9	Ningún mantenimiento periódico			Paquete de freno delantero y paquete de frenos trasero	Inventarios
1B10	Ningún mantenimiento periódico			Válvula de servicio del freno trasero	Inventarios
1B11	Ningún mantenimiento periódico			Acumuladores de frenos de servicio	Inventarios

Anexo 18 - Especificación de las tareas del sistema hidráulico

Ítem	Tarea a realizar	Frecuencia inicial	A realizar por	Comentarios / Observaciones	Tipo de tarea
1A1	Ningún mantenimiento periódico				
1A2	Ningún mantenimiento periódico			Bomba de levante	Inventarios
1A3	Ningún mantenimiento periódico			Válvula de control de levante	Inventarios
1A4	Ningún mantenimiento periódico				
1A5	Ningún mantenimiento periódico			Válvula solenoide de control de levante	Inventarios
1A6	Ningún mantenimiento periódico				
1A7	Ningún mantenimiento periódico			Válvula solenoide de levante	Inventarios
1A8	Ver análisis del sistema de frenos				Análisis por separado
1A9	Ningún mantenimiento periódico			Sensor de posición de levante	Inventarios
1A10	Ningún mantenimiento periódico				
1A11	Ningún mantenimiento periódico			ECM de la transmisión	Inventarios
1A12	Ningún mantenimiento periódico				
1A13	Ningún mantenimiento periódico			Manifold de la presión piloto	Inventarios
1A14	Ningún mantenimiento periódico			Válvula de alivio de levante	Inventarios
1A15	Ningún mantenimiento periódico				
1B1	Hacer análisis de aceite hidráulico de levante y evaluar las ppm que muestran el desgaste de componentes, cuando el valor de Cu >17 ppm, Fe >09 ppm, Cr >2 ppm, Al >3 ppm, Pb > 2 ppm, Si >40 ppm, % de H2O > 0,5 ppm cambiar aceite, volver a tomar muestra y evaluar caudal y presión de la bomba de levante y bomba de frenos y revisar hermeticidad del sistema para evitar entrada de Si y H2O y eficiencia de válvula de control de levante	500 Horas	Lubricador	Bomba de levante	Inventarios
1B2	Hacer análisis de aceite hidráulico de levante y evaluar la degradación de los aditivos del aceite, cuando el valor viscosidad este por fuera de 6,3 cSt, oxidación > 25, programar cambio de aceite hidráulico y cambio de filtro hidráulico, y hacer nueva toma de muestra.	500 Horas	Lubricador	Aceite hidráulico	Inventarios
1B3	Ningún mantenimiento periódico			Válvula de alivio de levante	Inventarios
1B4	Ningún mantenimiento periódico			Válvula de alivio de levante	Inventarios
1B5	Ningún mantenimiento periódico				
1B6	Ningún mantenimiento periódico			Cilindros de levante	Inventarios
1B7	Ningún mantenimiento periódico			Válvula solenoide de levante	Inventarios

1B8	Ningún mantenimiento periódico			Sensor de posición de la palanca de levante	Inventarios
1B9	Ningún mantenimiento periódico			Aceite hidráulico	Inventarios

Anexo 19 - Especificación de las tareas del sistema dirección

Ítem	Tarea a realizar	Frecuencia inicial	A realizar por	Comentarios / Observaciones	Tipo de tarea
1A1	Rediseño obligatorio: Hacer que se cumpla la entrega del equipo con prueba de campo operador y mantenedor y aplicar procedimiento de entrega del equipo		Supervisor de mantenimiento		Rediseños
1A2	Rediseño obligatorio: Agregar en el procedimiento de cambio de HMU la revisión del ajuste de los tornillos.		Ingeniero de confiabilidad		Rediseños
1A3	Rediseño obligatorio: Agregar en el procedimiento de cambio de terminal, de alineación y cambio de barras de la dirección, dar el torque 210 lb-pie y la posición de la abrazadera		Ingeniero de confiabilidad		Rediseños
1A4	Rediseño obligatorio: Reporte de evento no deseado al medio ambiente a cargo de supervisor de operación mina según procedimiento.		Ingeniero de confiabilidad		Rediseños
1A5	Ningún mantenimiento periódico				
1B1	Hacer análisis de aceite de la dirección y evaluar las ppm, cuando el valor de Cu >4 ppm, Fe >10 ppm, Cr >2 ppm, Al >10 ppm, Pb > 2 ppm, Si >18 ppm, % de H2O > 0,5 ppm cambiar aceite, volver a tomar muestra y evaluar caudal y presión de la bomba de dirección principal y revisar hermeticidad del sistema para evitar entrada de Si y H2O y Eficiencia de válvula de control de dirección	500 horas	Lubricador		
1B2	Ningún mantenimiento periódico			Cilindro de suspensión delantera	Inventarios
1B3	Ningún mantenimiento periódico			Válvula de control de flujo de la dirección	Inventarios
1B4	Ningún mantenimiento periódico			Cilindro de dirección	Inventarios
1B5	Ningún mantenimiento periódico			Válvula de alivio primaria de la dirección principal	Inventarios
1B6	Ningún mantenimiento periódico			Columna de la dirección	Inventarios
1B7	Ningún mantenimiento periódico			Válvula compensadora de flujo de dirección principal	Inventarios
1B8	Rediseño: Agregar al procedimiento de cambio de bomba de la dirección o de un componente mayor el instructivo de cómo hacer el proceso de desaire del sistema de dirección		Ingeniero de confiabilidad		Rediseños

Anexo 20 - Especificación de las tareas del sistema estructural

Ítem	Tarea a realizar	Frecuencia inicial	A realizar por	Comentarios / Observaciones	Tipo de tarea
1A1	Medir el juego entre el pin y el buje de la barra estabilizadora, debe estar en 5 mm, si es 5 programar cambio	2000 horas	Mecánico	Bujes de la barra estabilizadora	Inventarios
1A2	Medir el juego entre el pin y el buje de la barra estabilizadora, debe estar en 2 mm, si es 5 programar cambio	2000 horas	Mecánico		
1A3	Medir el juego entre la barra estabilizadora y el pin de la barra, debe estar en 2 mm, si es 5 mm programar cambio de rotula	1000 horas.	Mecánico	Rotula de barra estabilizadora	Inventarios
2A1	Ningún mantenimiento preventivo			Rotula de barra estabilizadora	Inventarios
2A2	Ningún mantenimiento preventivo			Trunion del tren trasero	Inventarios
2A3	Ningún mantenimiento preventivo			Botellas de nitrógeno	Inventarios
2A4	Ningún mantenimiento preventivo			Cilindros de suspensión delantero y trasera	Inventarios
2A5	Ningún mantenimiento preventivo			Pin y tornillo de suspensión trasera	Inventarios
3A1	Ningún mantenimiento preventivo			Válvula de carga de cilindro de suspensión.	Inventarios
3A2	Ningún mantenimiento preventivo			Sellos del sensor Pay load.	Inventarios
3A3	Ningún mantenimiento preventivo			Kit de sellos del cilindro de suspensión	Inventarios
3A4	Revisar el procedimiento de calibración de cilindro de suspensión y agregar la actividad de la manera adecuada de instalar las cubiertas sino existe. Divulgar y entrenar.		Ingeniero de confiabilidad		Rediseños
3A5	Inspeccionar aparición de grietas en la superficie de la cubierta de los cilindros de suspensión trasera, si hay grietas programar cambio	500 horas	Mecánico		
4A1	Ningún mantenimiento preventivo			Pads del volco	Inventarios
4A2	Ningún mantenimiento preventivo				
4A3	Ningún mantenimiento preventivo			Basculantes completos	Inventarios
4A4	Ningún mantenimiento preventivo			Pin del basculante	Inventarios
4A5	Ningún mantenimiento preventivo			Arandelas de ajuste del pin del volco	Inventarios
5A1	Ningún mantenimiento preventivo			Volco	Inventarios
5A2	Ningún mantenimiento preventivo				
6A1	Revisar el protocolo de operación del cargador, actualizarlo y divulgarlo.		Facilitador de entrenamiento	Volco completo	Procedimiento
6A2	Ningún mantenimiento preventivo			Volco completo	Inventarios

Anexo 21 - Especificación de tareas del sistema eléctrico y electrónico

Modo de Falla	Tarea a realizar	Frecuencia inicial	A realizar por	Comentarios / Observaciones	Tipo de tarea
1A1	Rediseño: Revisar programa de cambio de baterías por descargadas y no por dañadas, control de las garantías. Cuantas baterías se han cambiado en el último año y cuánto vale una batería.		Ingeniero de confiabilidad	Baterías 4D	Rediseños
1A2	Rediseño: Revisar programa de cambio de baterías están cambiando baterías cuando están descargando, aumenta el daño ambiental por mayor consumo		Ingeniero de confiabilidad	Baterías 4D	Rediseños
1A3	Ningún mantenimiento preventivo			Baterías 4D	Inventarios
1A4	Ningún mantenimiento preventivo			Alternador	Inventarios
1A5	Ningún mantenimiento preventivo			Alternador	Inventarios
1A6	Ningún mantenimiento preventivo			Alternador	Inventarios
1A7	Hacer inspección visual de la superficie de correa del alternador, si la encuentra agrietada cambiar de inmediato.	500 horas	Electricista	Estandarizar procedimiento de cambio de correa del alternador. Correa	Procedimiento
1A8	Ningún mantenimiento preventivo			Interruptor	Inventarios
1A9	Ningún mantenimiento preventivo			Interruptor	Inventarios
1A10	Ningún mantenimiento preventivo			Interruptor máster	Inventarios
1A11	Ningún mantenimiento preventivo			Breaker (disyuntor) del alternador	Inventarios
1B1	Ningún mantenimiento preventivo			Breaker	Inventarios
1B2	Ningún mantenimiento preventivo			Breaker	Inventarios
1B3	Ningún mantenimiento preventivo			Breaker	Inventarios
1B4	Medir la deflexión de la correa con debe una comba entre 14 a 20 mm bajo una fuerza de 90 lb p, si baja más de 20 tensionar la correa.	500 horas	Mecánico	Hacer procedimiento para la medición de la tensión de la correa	Procedimiento
1C1	Ningún mantenimiento preventivo			Alternador	Inventarios

Anexo 22 - Tareas del plan de mantenimiento actual de CMSA

Cada 500 horas de servicio o cada 3 meses

- Correa - Inspeccionar/Reemplazar
- Breather (Fuel Tank) - Replace
- Aceite del diferencial y del mando final - Inspeccionar
- Respiradero del cárter del motor - Limpiar
- Filtro de aceite del motor (sistema de renovación de aceite) - Cambiar
- Aceite del motor y filtro - Cambiar
- Fan Drive Bearing and Belt Tightener Pulley - Lubricate
- Bastidor - Limpiar/inspeccionar
- Aceite de la rueda delantera - Cambiar
- Front Wheel Oil - Inspect
- Nivel de aceite de la rueda delantera - Revisar
- Fuel System Primary Filter (Water Separator) - Replace
- Filtro secundario del sistema de combustible - Reemplazar
- Tapa y filtro del tanque de combustible - Limpiar
- Magnetic Screen (Transmission) - Clean
- Cilindro de la suspensión - Revisar

Cada 1000 horas de servicio o cada 6 meses

- Respiradero (tanque del dispositivo de levantamiento y de los frenos) - Reemplazar
- Respiradero (convertidor de par y transmisión) - Reemplazar
- Bastidor y caja - Inspeccionar
- Tacos de soporte del bastidor y de la caja - Limpiar/inspeccionar
- Hoist and Brake Tank Oil - Change
- Oil Filter (Brake) - Replace
- Oil Filter (Rear Axle) - Replace
- Oil Filter (Power Train) - Replace
- Oil Filter (Steering) - Replace
- Estructura de Protección en Caso de Vuelcos (ROPS) - Inspeccionar
- Suspensión del asiento - Inspeccionar/lubricar
- Frenos de servicio - Inspeccionar
- Varillaje de la dirección - Inspeccionar
- Steering System Oil - Change
- Aceite del convertidor de par y de la transmisión - Cambiar

Cada 2000 horas de servicio o cada año

- Respiradero (diferencial y mando final) - Reemplazar
- Espacio libre del pasador de tope del diferencial - Revisar
- Lubrication Pump Oil - Change
- Rear Axle Housing End Play - Adjust

Cada 3000 horas de servicio o cada 2 años

- Tapa de presión del sistema de enfriamiento - Limpiar/reemplazar
- Inyector unitario electrónico - Inspeccionar/ajustar
- Engine Brake Slave Piston Lash - Inspect/Adjust
- Juego de válvulas del motor - Revisar/ajustar
- Rotadores de válvula del motor - Inspeccionar
- Oil Filter (Steering Pump Case Drain) - Replace
- Radiator Core and Aftercooler - Clean

Cada 3 Años

- Cinturón de seguridad - Reemplazar

Cada 4000 horas de servicio o 1 año

- Aceite del diferencial y del mando final - Cambiar

Cada 6000 horas de servicio o cada 3 años

- Prolongador de vida útil de refrigerante del sistema de enfriamiento (ELC) - Agregar

Cada 6.000 horas de servicio o 4 años

- Termostato del agua del sistema de enfriamiento - Reemplazar

Cada 7.500 Horas de servicio o 568.500 litros (150.000 gal EE.UU.) de combustible

- Componentes del motor - Reconstruir/instalar Reman
- Bomba de agua del motor - Inspeccionar

Cada 10.000 horas de servicio

- Prisionero de bola de la dirección - Reemplazar

Cada 12.000 horas de servicio o 6 años

- Refrigerante del sistema de enfriamiento (ELC) - Cambiar

Cada 15.000 horas de servicio

- Aro - Inspeccionar

Cada 15.000 Horas de servicio o 1.137.000 litros (300.000 gal EE.UU.) de combustible

- Componentes del motor - Limpiar/inspeccionar, reconstruir/instalar Reman, instalar nuevos

Anexo 23 - Rutinas de mantenimiento del sistema motriz

Tarea a realizar	A realizar por	Tipo de tarea	Comentarios	Frecuencia
Revisar el nivel de combustible en el indicador del panel de instrumentos, si el nivel está igual o por debajo de un 30% solicitar suministro de combustible a base	Operador de camión	Monitoreo de condición		Cada inicio de turno
Limpiar el filtro de admisión de aire primario con 30 psi aire comprimido y cambiar cuando cumpla las 3000 horas	Lubricador	Reacondicionamiento cíclico	Filtro de admisión de aire primario	500 horas
Inspeccionar si el testigo de daño de bomba de combustible está activada, si lo está cambiar la bomba de inmediato.	Mecánico	Monitoreo de condición	Bomba de transferencia	1000 horas
Hacer análisis de aceite del motor para buscar desgaste de componentes, si encuentra cambio en la tendencia de desgaste de Cu > 7 ppm, Fe > 22 ppm, Cr > 2 ppm, Al > 2 ppm, Pb > 2 ppm, Si > 8 ppm, hollin > 2,5%, Na > 45 ppm e ingreso de combustible al aceite. Programar cambio de aceite y filtros del motor, revisar herméticamente el motor, revisar relación aire combustible, revisar presión de la bomba de transferencia, defina si hay que cambiar motor.	Lubricador	Monitoreo de condición	Motor diésel	500 horas
Hacer análisis de aceite del motor para buscar desgaste de componentes, si encuentra cambio en la tendencia de desgaste de Cu > 7 ppm, Fe > 22 ppm, Cr > 2 ppm, Al > 2 ppm, Pb > 2 ppm, Si > 8 ppm, hollin > 2,5%, Na > 45 ppm e ingreso de combustible al aceite. Programar cambio de aceite y filtros del motor, revisar	Lubricador	Monitoreo de condición		500 horas

herméticamente el motor, revisar relación aire combustible, revisar presión de la bomba de transferencia, defina si hay que cambiar motor.				
Hacer análisis de aceite del motor para buscar desgaste de componentes, si encuentra cambio en la tendencia de desgaste de Cu > 7 ppm, Fe > 22 ppm, Cr > 2 ppm, Al > 2 ppm, Pb > 2 ppm, Si > 8 ppm, hollin > 2,5%, Na > 45 ppm e ingreso de combustible al aceite. Programar cambio de aceite y filtros del motor, revisar herméticamente el motor, revisar relación aire combustible, revisar presión de la bomba de transferencia, defina si hay que cambiar motor.	Lubricador	Monitoreo de condición		500 horas
Verificar el funcionamiento de la pito, accionar el pulsador del pito y confirmar que emita sonido, sino emite reparar de inmediato	Operador de camión	Tarea de búsqueda de fallas	Bocina	8 horas
Verificar el funcionamiento de la pito, accionar el pulsador del pito y confirmar que emita sonido, sino emite reparar de inmediato	Operador de camión	Tarea de búsqueda de fallas	Bocina	8 horas
Verificar el funcionamiento de la pito, accionar el pulsador del pito y confirmar que emita sonido, sino emite reparar de inmediato	Operador de camión	Tarea de búsqueda de fallas		8 horas
Verificar el funcionamiento de la pito, accionar el pulsador del pito y confirmar que emita sonido, sino emite reparar de inmediato	Operador de camión	Tarea de búsqueda de fallas	Fusible de la bocina	8 horas
Verificar el funcionamiento de la pito, accionar el pulsador del pito y confirmar que emita sonido, sino emite reparar de inmediato	Operador de camión	Tarea de búsqueda de fallas	Escobillas del volante	8 horas
Verificar el funcionamiento de la parada de emergencia del camión, accionar el interruptor de la parada de emergencia de nivel de suelo y confirmar que el camión se detenga	Electricista	Tarea de búsqueda de fallas	Interruptor de parada de emergencia de nivel de piso	500 horas
Verificar el funcionamiento de la parada de emergencia del camión, accionar el interruptor de la parada	Electricista	Tarea de búsqueda de fallas		500 horas

de emergencia de nivel de suelo y confirmar que el camión se detenga				
Inspección presencia de humedad de aceite en el sello delantero del cigüeñal del motor diésel, si encuentra humedad programar cambio de sello delantero del cigüeñal	Mecánico	Monitoreo de condición	Sello delantero del cigüeñal	1000 horas
Inspección presencia de humedad de aceite en el sello de las juntas del enfriador de aceite del motor diésel, si encuentra humedad programar cambio de sello de las juntas del enfriador de aceite del motor diésel	Mecánico	Monitoreo de condición	Sello de las juntas del enfriador de aceite del motor diésel	1000 horas
Inspección presencia de humedad de aceite en el sello del sensor de presión aceite, si encuentra humedad programar cambio de sello de las juntas del enfriador de aceite del motor diésel	Mecánico	Monitoreo de condición	Sello del sensor de presión aceite	2000 horas
Inspección presencia de humedad de aceite en el sello de la base de los filtros del aceite del motor, si encuentra humedad programar cambio de sello de la base de los filtros del aceite del motor	Mecánico	Monitoreo de condición	Sello de la base de los filtros del aceite del motor	2000 horas
Inspeccionar visualmente el empaque del cárter del motor, si encuentra humedad de aceite en el área del empaque, programar cambio del empaque del cárter del motor	Mecánico	Monitoreo de condición	Empaque del cárter	2000 horas
Inspeccionar visualmente el sello de los tapones de drenaje del cárter, si encuentra humedad de aceite en el área del sello, programar cambio del sello de los tapones de drenaje del cárter	Mecánico	Monitoreo de condición	Sello de los tapones de drenaje del cárter	2000 horas
Inspeccionar visualmente el sello de la válvula de drenaje del cárter, si encuentra humedad de aceite en el área del sello, programar cambio del sello de la válvula de drenaje del cárter	Mecánico	Monitoreo de condición	Sellos de la válvula de drenaje del cárter	2000 horas
Inspeccionar visualmente el sello del sensor de temperatura del aceite motor, si encuentra humedad de aceite en el área del sello,	Mecánico	Monitoreo de condición	Sellos del sensor de temperatura del aceite motor	2000 horas

programar cambio del sello del sensor de temperatura del aceite motor.				
Inspeccionar visualmente la superficie de la manguera de llenado y la superficie de la manguera de drenaje de aceite del motor, si encuentra la superficie cuarteada o agrietada o con humedad de aceite, cambiar de inmediato la manguera de llenado o la manguera de drenaje de aceite	Mecánico	Monitoreo de condición	Manguera de llenado y drenaje de aceite motor	2000 horas
Inspeccionar visualmente el empaque de la carcaza frontal del motor, si encuentra humedad de aceite en el área del empaque, programar cambio del empaque de la carcaza frontal del motor	Mecánico	Monitoreo de condición	Empaque de la carcaza frontal	2000 horas
Inspeccionar visualmente el empaque de la carcaza trasera del motor, si encuentra humedad de aceite en el área del empaque, programar cambio del empaque de la carcaza trasera del motor	Mecánico	Monitoreo de condición	Empaque de la carcaza trasera	2000 horas
Inspeccionar visualmente el sello del sensor de la línea de lubricación y de retorno del turbo, si encuentra humedad de aceite en el área del sello, programar cambio del sello de la línea de lubricación y de retorno del turbo.	Mecánico	Monitoreo de condición	Sello de la línea de lubricación y de retorno del turbo	2000 horas
Inspeccionar visualmente el sello del tapa válvulas, si encuentra humedad de aceite en el área del sello, programar cambio del sello del tapa válvulas	Mecánico	Monitoreo de condición	Sello del tapa válvulas	2000 horas
Inspeccionar visualmente el sello de la bomba de transferencia, si encuentra humedad de aceite en el área del sello, programar cambio del sello de la bomba de transferencia.	Mecánico	Monitoreo de condición	Sello de la bomba de transferencia	2000 horas
Inspeccionar visualmente el sello del tubo de llenado de aceite, si encuentra humedad de aceite en el área del sello, programar cambio del sello del tubo de llenado de aceite	Mecánico	Monitoreo de condición	Sellos del tubo de llenado de aceite	2000 horas

Inspeccionar visualmente el sellante del tapón de la sonda de calibración de los sensores de velocidad y tiempo, si encuentra humedad de aceite en el área del sellante, programar cambio del sellante del tapón de la sonda de calibración de los sensores de velocidad y tiempo.	Mecánico	Monitoreo de condición	Sellante del tapón de la sonda de calibración de los sensores de velocidad y tiempo	2000 horas
Inspeccionar visualmente el sello del sensor de velocidad y tiempo secundario, si encuentra humedad de aceite en el área del sello, programar cambio del sello del sensor de velocidad y tiempo secundario	Mecánico	Monitoreo de condición	Sellos del sensor de velocidad y tiempo secundario	2000 horas
Inspeccionar visualmente el sello del sensor de velocidad y tiempo primario, si encuentra humedad de aceite en el área del sello, programar cambio del sello del sensor de velocidad y tiempo primario	Mecánico	Monitoreo de condición	Sellos del sensor de velocidad y tiempo primario	2000 horas
Inspeccionar visualmente el sello del tubo de la varilla de nivel de aceite motor, si encuentra humedad de aceite en el área del sello, programar cambio del sello del tubo de la varilla de nivel de aceite motor.	Mecánico	Monitoreo de condición	Sello del tubo de la varilla de nivel de aceite motor	2000 horas
Inspeccionar visualmente de la válvula de admisión y escape, si encuentra humedad de aceite en el área del sello, programar cambio del sello de la válvula de admisión y escape	Mecánico	Monitoreo de condición	Sellos de válvula de admisión y escape	2000 horas
Inspeccionar visualmente el sello del sensor de montaje de la bomba de agua, si encuentra humedad de aceite en el área del sello, programar cambio del sello de montaje de la bomba de agua	Mecánico	Monitoreo de condición	Sellos de montaje de la bomba de agua	2000 horas
Verificar el funcionamiento de la alarma de bajo nivel de aceite del motor, bajar el nivel de aceite del motor por debajo del valor mínimo, confirmar que se active la alarma de nivel 3 en el panel de instrumentos	Electricista	Tarea de búsqueda de fallas	Interruptor electrónico de nivel de aceite de motor	6000 horas

Verificar el funcionamiento de la alarma de bajo nivel de aceite del motor, bajar el nivel de aceite del motor por debajo del valor mínimo, confirmar que se active la alarma de nivel 3 en el panel de instrumentos	Electricista	Tarea de búsqueda de fallas		6000 horas
Verificar el funcionamiento de la alarma de bajo nivel de aceite del motor, bajar el nivel de aceite del motor por debajo del valor mínimo, confirmar que se active la alarma de nivel 3 en el panel de instrumentos	Electricista	Tarea de búsqueda de fallas	ECM del motor	6000 horas
Inspeccionar el nivel de aceite en el carter del motor, confirmar que el sistema ORS este trabajando y si el nivel de aceite está en el valor mínimo solicitar suministro de aceite de motor.	Operador de camión	Monitoreo de condición	Aceite de motor	8 horas
Hacer análisis de aceite del motor para buscar desgaste de componentes, si encuentra cambio en la tendencia de desgaste de Cu > 7 ppm, Fe > 22 ppm, Cr > 2 ppm, Al > 2 ppm, Pb > 2 ppm, Si > 8 ppm, hollin > 2,5%, Na > 45 ppm e ingreso de combustible al aceite. Programar cambio de aceite y filtros del motor, revisar herméticamente el motor, revisar relación aire combustible, revisar presión de la bomba de transferencia, defina si hay que cambiar bomba de aceite	Lubricador	Monitoreo de condición	Bomba de aceite	500 horas
Hacer análisis de aceite del motor para buscar desgaste de componentes, si encuentra cambio en la tendencia de desgaste de Cu > 7 ppm, Fe > 22 ppm, Cr > 2 ppm, Al > 2 ppm, Pb > 2 ppm, Si > 8 ppm, hollin > 2,5%, Na > 45 ppm e ingreso de combustible al aceite. Programar cambio de aceite y filtros del motor, revisar herméticamente el motor, revisar relación aire combustible, revisar presión de la bomba de transferencia, defina si hay que cambiar inyectores	Lubricador	Monitoreo de condición	Sello del inyector de combustible	500 horas

Cambiar el filtro de aceite del motor	Lubricador	Sustitución cíclica	Filtro de aceite del motor	500 horas
Hacer análisis de aceite del motor para revisar la tendencia de contaminación de aceite, si el código de limpieza ISO 4406 25/23/20 realizar cambio de filtro y revisar la válvula de derivación del filtro	Lubricador	Monitoreo de condición	Válvula de derivación del filtro de aceite motor Confirmar con mobil el valor ISO de contaminación de aceite motor	500 horas
Verificar la instalación del clip de sujeción de la malla de bomba, hacer revisión visual y confirmar que el clip esté instalado.	Mecánico	Tarea de búsqueda de fallas	Clip de sujeción de la malla de la bomba de lubricación	4000 horas
Cambiar el respiradero del cárter	Lubricador	Sustitución cíclica	Respiradero del cárter del motor	4000 horas
Lavar el radiador del motor diésel	Mecánico	Reacondicionamiento cíclico	Radiador	500 horas
Medir las vibraciones de los rodamientos del motor del ventilador del sistema hidráulico, si el valor es igual o mayor a XX ips, programar cambio de los rodamientos.	Contratista	Monitoreo de condición	Rodamientos del mando del ventilador	XX horas
Inspeccionar la superficie del tanque del radiador, si encuentra burbujas de refrigerante, programar cambio del empaque del tanque del radiador	Mecánico	Monitoreo de condición	Empaque del tanque del radiador superior o inferior	1000 horas
Inspeccionar la superficie del asiento de la válvula de drenaje, si encuentra humedad de refrigerante, programar cambio de la válvula de drenaje	Mecánico	Monitoreo de condición	Válvula de drenaje	1000 horas
Inspeccionar la superficie del empaque de la tapa de llenado, si encuentra humedad de refrigerante, programar cambio de la tapa de llenado	Mecánico	Monitoreo de condición	Empaque de la tapa de llenado	1000 horas
Inspeccionar la superficie de la manguera de la mirilla del radiador, si encuentra humedad de refrigerante, programar cambio de la mirilla	Mecánico	Monitoreo de condición	Manguera de la mirilla del radiador	2000 horas
Inspeccionar la superficie de la manguera del radiador, si encuentra humedad de refrigerante, programar cambio de la manguera	Mecánico	Monitoreo de condición	Abrazadera de las mangueras de la mirilla	2000 horas

Inspeccionar la superficie de la manguera de salida del radiador, si encuentra humedad de refrigerante, programar cambio de la manguera	Mecánico	Monitoreo de condición	Mangueras de salida al radiador a los enfriadores	2000 horas
Lavar el panel del radiador del motor con agua y detergente	Mecánico	Reacondicionamiento cíclico	Panel del radiador	500 horas
Inspeccionar el nivel de combustible en el tanque, si el nivel está por debajo del valor máximo, programar suministro de combustible	Operador de camión	Monitoreo de condición		8 horas
Cambiar el filtro primario de combustible	Mecánico	Sustitución cíclica	Filtro primario de combustible	500 horas
Cambiar el filtro secundario de combustible	Mecánico	Sustitución cíclica	Filtro secundario de combustible	500 horas
Hacer pruebas de tintas penetrantes en el tanque de combustible, si se encuentra fisuras reparar de inmediato.	Contratista	Monitoreo de condición	Depósito de combustible	XX horas
Inspeccionar visualmente la superficie de la manguera de suministro de combustible, si la encuentra rígida, agrietada o cuarteada, cambiar de inmediato	Mecánico	Monitoreo de condición		1000 horas
Inspeccionar visualmente el área de los sellos de la manguera de suministro de combustible, si encuentra humedad de combustibl, cambiar de inmediato los sellos.	Mecánico	Monitoreo de condición		1000 horas
Inspeccionar visualmente el área de la manguera de succión de combustible, si encuentra humedad de combustible, cambiar de inmediato la manguera	Mecánico	Monitoreo de condición	Manguera de succión de la bomba de transferencia	1000 horas
Inspeccionar visualmente el área de los sellos de la manguera de succión de la bomba eléctrica, si encuentra humedad, cambiar de inmediato los sellos.	Mecánico	Monitoreo de condición	Sellos de la manguera de succión de la bomba eléctrica de cebado	1000 horas
Inspeccionar visualmente el área de los sellos de la carcasa del separador de agua, si encuentra humedad, cambiar de inmediato los sellos.	Mecánico	Monitoreo de condición		1000 horas

Inspeccionar visualmente la superficie de los sellos de acople de las mangueras del filtro secundario, si encuentra humedad, cambiar de inmediato	Mecánico	Monitoreo de condición	Sellos del acople de la mangueras del filtro secundario	1000 horas
Inspeccionar visualmente la superficie de la manguera entre la bomba de transferencia y filtro, si encuentra humedad, cambiar de inmediato	Mecánico	Monitoreo de condición		1000 horas
Inspeccionar visualmente la superficie de la manguera entre el filtro secundario y la culata, si encuentra humedad, cambiar de inmediato	Mecánico	Monitoreo de condición		1000 horas
Inspeccionar visualmente el área de los sellos ubicados en la base del filtro secundario, si encuentra humedad, cambiar de inmediato	Mecánico	Monitoreo de condición		1000 horas
Inspeccionar visualmente el área del sello de la manguera de entrada a la de combustible a la culata, si encuentra humedad, cambiar de inmediato	Mecánico	Monitoreo de condición		1000 horas
Inspeccionar visualmente el área de los sellos de la manguera de entre la culata y la válvula reguladora, si encuentra humedad, cambiar de inmediato	Mecánico	Monitoreo de condición		1000 horas
Inspeccionar visualmente la superficie de la manguera de entre la culata y la válvula reguladora, si encuentra humedad, cambiar de inmediato	Mecánico	Monitoreo de condición		1000 horas
Inspeccionar visualmente el área de la tapa del depósito de combustible, si encuentra humedad, cambiar de inmediato	Mecánico	Monitoreo de condición		1000 horas
Inspeccionar visualmente el área del sensor de nivel en el tanque de combustible, si encuentra humedad, cambiar de inmediato	Mecánico	Monitoreo de condición		1000 horas
Cambiar el filtro de admisión primario	Mecánico	Sustitución cíclica	Filtro de admisión primario	500 horas
Cambiar el filtro de admisión secundario	Mecánico	Sustitución cíclica	Filtro de admisión secundario	500 horas

Verificar que la malla metálica del separador de partículas solidas se encuentre sin golpes y en buen estado, haciendo una inspección visual	Mecánico	Tarea de búsqueda de fallas	Malla metálica de ingreso de aire al separador de partículas solidas	2000 horas
Verificar que la malla metálica del separador de partículas solidas se encuentre instalada, haciendo una inspección visual	Mecánico	Tarea de búsqueda de fallas		3000 horas
Verificar que la tapa de la entrada de la carcaza de filtros de aire se encuentre sin golpes y en buen estado, haciendo una inspección visual	Mecánico	Tarea de búsqueda de fallas	Tapa de la entrada de la carcaza de filtros de aire	3000 horas
Verificar que la tapa de la carcaza de los filtros de aire se encuentre instalada, haciendo una inspección visual	Mecánico	Tarea de búsqueda de fallas	Tapa de la carcaza de los filtros de aire ausente	3000 horas
Verificar que la carcaza de los filtros de aire se encuentre sin golpes y en buen estado, haciendo una inspección visual	Mecánico	Tarea de búsqueda de fallas	Carcaza de los filtros de aire de admisión	XX horas
Inspeccionar visualmente la válvula de evacuación para verificar el estado de la válvula de evacuó de la carcaza de filtros, si la encuentra agrietada o fisurada cambiar de inmediato.	0	Monitoreo de condición	Válvula de evacuación de la carcaza de filtros de admisión	2000 horas
Cambiar el filtro de admisión primario	Mecánico	Sustitución cíclica	Filtro de admisión primario	1000 horas
Verificar que el tornillo de la mariposa de ajuste del filtro primario cierre, haciendo una inspección visual en el ajuste del mismo	Mecánico	Tarea de búsqueda de fallas		2000 horas
Cambiar el filtro de admisión secundario	Mecánico	Sustitución cíclica	Filtro secundario de aire de admisión	1000 horas
Verificar que el tornillo de la mariposa de ajuste del filtro secundario cierre, haciendo una inspección visual en el ajuste del mismo	Mecánico	Tarea de búsqueda de fallas	Tornillo o de la mariposa de ajuste del filtro secundario	2000 horas
Lavar el panel del pos enfriador de aire de admisión con detergente y agua	Mecánico	Reacondicionamiento cíclico		500 horas
Inspeccionar la presencia de oxidación exterior en caja	Mecánico	Monitoreo de condición	Caja silenciadora	2000 horas

silenciadora, si encuentra cascara de oxido mayores a 25 cm, programar cambio de la caja				
Inspeccionar la presencia de oxidación exterior en caja silenciadora, si encuentra cascara de oxido mayores a 25 cm, programar cambio de la caja	Mecánico	Monitoreo de condición	Caja silenciadora	XX horas
Hacer inspección visual sobre la superficie entre el múltiple de escape y la culata del motor, si encuentra manchas de humo negro, programar cambio del empaque del múltiple de escape	Mecánico	Monitoreo de condición	Empaques del múltiple de escape	500 horas
Hacer inspección visual de los espárragos que sujetan el múltiple de escape, si encuentra uno partido, programar cambio de espárragos y empaques del múltiple de escape.	Mecánico	Monitoreo de condición	Espárragos del múltiple de escape	500 horas
Hacer inspección visual sobre la superficie entre los segmentos del múltiple de escape, si encuentra manchas de humo negro, programar cambio del múltiple de escape	Mecánico	Monitoreo de condición	Múltiple de escape	500 horas
Pintar la guarda de la caja silenciadora con pintura corrosiva	Mecánico	Reacondicionamiento cíclico	Guarda de la caja silenciadora	2 años
Inspeccionar el protector térmico del sistema de escape, si hay más del 30% del protector térmico dañado programar cambio	Mecánico	Monitoreo de condición	Protector térmico del sistema de escape	XX horas
Pintar el aviso de superficie caliente ubicado en el sistema de escape	Mecánico	Reacondicionamiento cíclico	Aviso de superficie caliente	2 años

Anexo 24 - Plan de implementación

PLAN DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO					
1. FASE DE APERTURA					
Ítem	TAREA	ENTREGABLE	RESPONSABLE	ENCARGADO	TIEMPO ESTIMADO
1.1	Determinación de las partes interesadas	Análisis y lista de Stakeholders o interesados	Superintendente	Líder del Proyecto	10
1.2	Registro del proyecto en la empresa	Acta de registro	Superintendente	Líder del Proyecto	1
2. FASE DE PLANEACIÓN					
Ítem	TAREA	ENTREGABLE	RESPONSABLE	ENCARGADO	TIEMPO ESTIMADO
2	Diseño del plan de Trabajo	Plan de Trabajo	Líder del Proyecto	Planner del Proyecto	90
2.1	Gestión del alcance		Líder del Proyecto	Líder del Proyecto	20
2.1.1	Gestión de los requisitos	Plan de requisitos	Líder del Proyecto	Líder del Proyecto	10
2.1.2	Gestión de los interesados	Plan de los interesados	Líder del Proyecto	Líder del Proyecto	10
2.2	Gestión del tiempo		Líder del Proyecto	Planner del Proyecto	15
2.2.1	Determinación de restricciones de tiempo	Listado de días no disponibles	Líder del Proyecto	Planner del Proyecto	5
2.2.2	Elaboración del Cronograma del Proyecto	Cronograma del proyecto	Líder del Proyecto	Planner del Proyecto	10
2.3	Gestión de costos		Líder del Proyecto	Ingeniero de Costos	15
2.3.1	Determinación de horas de trabajo	Listado de horas de trabajo	Líder del Proyecto	Ingeniero de Costos	5
2.3.2	Determinación de costos fijos	Listado de costos fijos	Líder del Proyecto	Ingeniero de Costos	5
2.3.3	Determinación de costos variables	Listado de costos variables	Líder del Proyecto	Ingeniero de Costos	5
2.4	Gestión de calidad		Líder del Proyecto	Ingeniero de Confiabilidad	10
2.4.1	Control del tiempo	Plan de indicadores de cumplimiento	Líder del Proyecto	Ingeniero de Confiabilidad	5
2.4.2	Control del costo	Plan de indicadores de costos	Líder del Proyecto	Ingeniero de Costos	5

2.5	Gestión de comunicaciones		Líder del Proyecto	Ingeniero de Control de Calidad	5
2.5.1	Construcción de la matriz de comunicaciones	Matriz de comunicaciones	Líder del Proyecto Líder	Ingeniero de Control de Calidad	5
2.6	Gestión de Recursos Humanos		Superintendente	Líder del Proyecto	15
2.6.1	Composición del equipo del Proyecto	Organigrama del Proyecto	Superintendente	Líder del Proyecto	5
2.6.2	Asignación de roles al equipo del Proyecto	Listado del equipo del Proyecto	Superintendente	Líder del Proyecto	5
2.6.3	Construcción de la Matriz RACI	Matriz RACI	Líder del Proyecto	Documentador	5
2.7	Gestión de riesgos		Líder del Proyecto	Ingeniero de Control de Calidad	10
2.7.1	Construcción de la Matriz de Riesgos	Matriz de riesgos	Líder del Proyecto	Ingeniero de Control de Calidad	5
2.7.2	Correcciones del plan de Trabajo	Listado de correcciones del Plan	Líder del Proyecto	Planner del Proyecto	5
3. FASE DE EJECUCIÓN					
Ítem	TAREA	ENTREGABLE	RESPONSABLE	ENCARGADO	TIEMPO ESTIMADO
3.1	Socialización		Líder del Proyecto	Varios	26
3.1.1	Presentación al personal gerencial	Listado de acciones personal gerencial	Gerente de la unidad	Líder del Proyecto, Superintendente	1
3.1.2	Presentación al personal operativo	Listado de acciones personal operativo	Gerente de la unidad	Líder del Proyecto, Superintendente	12
3.1.3	Presentación al personal técnico	Listado de acciones personal técnico	Líder del Proyecto	Supervisor	12
3.1.4	Presentación al personal administrativo	Listado de acciones personal administrativo	Superintendente	Líder del Proyecto	1
3.2	Plan de capacitaciones		Líder del Proyecto	Especialista	35
3.2.1	Construcción del plan de trabajo del taller de RCM	Plan de entrenamientos	Líder del Proyecto	Especialista	30

3.2.2	Elaboración de la evaluación del taller de RCM	Documento (Evaluación del personal)	Líder del Proyecto	Especialista	5
3.3	Capacitación		Líder del Proyecto	Especialista	36
3.3.1	Taller General de RCM	Listado de asistencia taller 1	Líder del Proyecto	Especialista	5
3.3.2	Taller del sistema motriz	Listado de asistencia taller 2	Líder del Proyecto	Especialista	5
3.3.3	Taller del sistema de tren de potencia	Listado de asistencia taller 3	Líder del Proyecto	Especialista	5
3.3.4	Taller del sistema de freno	Listado de asistencia taller 4	Líder del Proyecto	Especialista	5
3.3.5	Taller del sistema hidráulico	Listado de asistencia taller 5	Líder del Proyecto	Especialista	5
3.3.6	Taller del sistema estructural	Listado de asistencia taller 6	Líder del Proyecto	Especialista	5
3.3.7	Taller del sistema eléctrico y electrónico	Listado de asistencia taller 7	Líder del Proyecto	Especialista	5
3.3.8	Retroalimentación	Listado de asistencia taller 8	Líder del Proyecto	Especialista	1
3.4	Evaluación del personal técnico		Líder del Proyecto	Especialista	12
3.4.1	Realización de la evaluación	Carpeta con evaluaciones	Líder del Proyecto	Especialista	5
3.4.2	Calificación de evaluaciones	Listado de personas que reprobaron	Líder del Proyecto	Especialista	5
3.4.3	Retroalimentación con el personal que reprobó	Listado de personas que hicieron retroalimentación	Líder del Proyecto	Especialista	2
3.5	Re-entrenamiento y sustentación de personal que reprobó		Líder del Proyecto	Especialista	10
3.6	Protocolos de mantenimiento		Líder del Proyecto	Facilitador	33
3.6.1	Determinación de los requisitos de los protocolos	Documento (Diagnostico de los procedimientos)	Líder del Proyecto	Facilitador	15
3.6.2	Construcción de los protocolos	Carpeta con protocolos	Líder del Proyecto	Facilitador	16
3.6.2.1	Construcción de protocolo de Sistema motriz	Protocolo del sistema motriz	Líder del Proyecto	Facilitador	2

3.6.2.2	Construcción de protocolo de Tren de Potencia	Protocolo del sistema de tren de potencia	Líder del Proyecto	Facilitador	2
3.6.2.3	Construcción de protocolo de Sistema de Freno	Protocolo del sistema de freno	Líder del Proyecto	Facilitador	2
3.6.2.4	Construcción de protocolo de Sistema Hidráulico	Protocolo del sistema hidráulico	Líder del Proyecto	Facilitador	2
3.6.2.5	Construcción de protocolo de Sistema Estructural	Protocolo del sistema estructural	Líder del Proyecto	Facilitador	2
3.6.2.6	Construcción de protocolo de Sistema Eléctrico	Protocolo del sistema eléctrico	Líder del Proyecto	Facilitador	2
3.6.2.7	Construcción de protocolo de Sistema Electrónico	Protocolo del sistema electrónico	Líder del Proyecto	Facilitador	2
3.6.3	Registro de los protocolos en normalización en línea CMSA	Acta de registro de protocolos	Líder del Proyecto	Documentador	1
3.6.4	Puesta en marcha de los protocolos de mantenimiento	Protocolos de mantenimiento diligenciados	Líder del Proyecto	Facilitador	1
3.7	Formato unificado		Ingeniero de Confiabilidad	Facilitador	3
3.7.1	Registro del formato unificado en normalización en línea CMSA	Acta de registro de protocolos	Ingeniero de Confiabilidad	Facilitador	1
3.7.2	Construcción de la base de datos del formato unificado	Base de datos de PM	Ingeniero de Confiabilidad	Facilitador	1
3.7.3	Puesta en marcha del formato unificado	Formatos diligenciados	Ingeniero de Confiabilidad	Facilitador	1
3.8	Rutinas de PM		Ingeniero de Confiabilidad	Facilitador	2
3.8.1	Registro de las rutinas de PM en normalización en línea CMSA	Acta de registro de rutinas de mantenimiento	Ingeniero de Confiabilidad	Facilitador	1
3.8.2	Puesta en marcha de las rutinas de PM		Ingeniero de Confiabilidad	Facilitador	1

4. FASE DE MONITOREO Y CONTROL DEL PROYECTO					
Ítem	TAREA	ENTREGABLE	RESPONSABLE	ENCARGADO	TIEMPO ESTIMADO
4.1	Reuniones	Listado de acciones	Líder del Proyecto	Varios	N.A
4.2	Informe	Informe de avance de proyecto	Líder del Proyecto	Varios	N.A
5. FASE DE CULMINACIÓN					
Ítem	TAREA	ENTREGABLE	RESPONSABLE	ENCARGADO	TIEMPO ESTIMADO
5.1	Lecciones aprendidas	Listado de lecciones aprendidas	Líder del Proyecto	Varios	1
5.2	Construcción del libro del proyecto	Libro del proyecto	Líder del Proyecto	Documentador	15